THE INTEGRATION OF VISUAL PERFORMANCE CRITERIA INTO THE ILLUMINATION DESIGN PROCESS

L'INTÉGRATION DE CRITÈRES DE PERFORMANCE VISUELLE AU PROCESSUS DE CONCEPTION D'ÉCLAIRAGE

January 25 - 27, 1982

Les 25, 26 et 27 janvier 1982

Public Works Canada
Travaux publics Canada

Canada

Ministry of Supply and Services 1983
Cat. No. W 63-7/1982
ISBN 0-662-52321-0
Published by Public Relations and Information Services
Public Works Canada

ADDRESS GIVEN BY
THE HONOURABLE PAUL COSGROVE
MINISTER OF PUBLIC WORKS CANADA
JANUARY 1982

Mr. Chairman, Ladies and Gentlemen.

First may I say how delighted I am, as Federal Minister of Public Works Canada, to welcome you to the plenary session of the international symposium on the very complex subject of visual performance and lighting design.

For us, this is an issue of great importance, in need of fairly urgent attention, in light of this department's priorities and our national objectives in the energy field.

But first let me say that we are particularly fortunate to have, among us, some of the most distinguised researchers in this field, gathered here from around the globe--to them a special welcome to Canada. I hope your stay is comfortable and enjoyable.

We at Public Works Canada are proud to sponsor this symposium, now in its third and final day, and to provide this informal arena for international experts to exchange their views. I understand it is something of a first for North America, certainly for Canada, on this important subject.

It is important to us, at Public Works Canada, because it impinges on the specifications for illumination of commercial buildings and because my Department is the largest realty manager in Canada, with over 7000 individual premises and 8 million square metres of space, all requiring illumination. Our job is to manage this property for the 90 odd federal departments and agencies, which are our clients and to develop new accommodation for them, as required. In executing these responsibilities, we must operate within the wider social, economic and environmental objectives of the Canadian Federal Government.

DISCOURS DE
L'HONORABLE PAUL COSGROVE
MINISTRE, TRAVAUX PUBLICS CANADA
JANVIER 1982

Monsieur le président, mesdames, messieurs,

En ma qualité de ministre fédéral de Travaux publics Canada, c'est avec grand plaisir que je déclare ouverte la séance plénière du Colloque international portant sur le sujet très complexe de la performance visuelle et de la conception de l'éclairage.

Cette question revêt pour nous une grande importance, et mérite une attention urgente, étant donné les priorités de ce Ministère et nos objectifs, à l'échelon national, dans le domaine de l'énergie.

Nous avons la chance d'avoir ici parmi nous, quelques-un des chercheurs les plus éminents dans ce domaine, venus de tous les coins du globe--qu'ils soient les bienvenus au Canada et passent parmi nous un séjour confortable et agréable.

Travaux publics Canada a l'honneur de patronner ce colloque, qui en est maintenant à son troisième et dernier jour, et de fournir aux spécialistes internationaux cette occasion d'échanger leurs opinions. Ce colloque est à ma connaissance sans précédent en Amérique du Nord, au Canada en tout cas.

L'importance particulière de ce colloque pour Travaux publics Canada est liée au fait qu'il concerne les spécifications d'éclairage pour les bâtiments commerciaux; notre Ministère est le plus grand gestionnaire immobilier au Canada, avec plus de 7 000 bâtiments individuels et 8 millions de mètres carrés d'espace utilisant l'éclairage. Notre tâche est de gérer cette propriété pour les 90 ministères et organismes du fédéral qui sont nos clients, et de créer pour eux de nouveaux locaux lorsqu'il en ont besoin. Nous devons remplir ces responsabilités en respectant les objectifs plus généraux d'ordre social, économique et environnemental du gouvernement fédéral.

Among the most important of these broad national objectives, which has special meaning to my Department these days, is energy conservation. We have for the past several years taken the lead role in energy conservation and the promotion of it, among our client departments and agencies and also among Canadian realty developers and owners.

We are proud of our accomplishments on this area. For example, our new federal buildings, in the National Capital Region, consume only about a third of the energy required by older buildings, designed before the energy crunch. We have also had considerable success in reducing consumption in the older buildings too. On an overall basis, for all types of buildings, we originally targeted a 30 per cent reduction over 5 years in consumption per square metre. We have recently raised our sights and expect to achieve a further reduction.

This has been done in a variety of ways, some fairly straight forward, involving little investment; others more sophisticated, requiring considerable engineering research and capital expenditure.

Among the simpler measures, which were quickly instituted, to great effect, are thermostatic set-backs, at night and on weekends; reduction of fan speeds and lowering hot water temperatures. We also, of course, did some delamping. By themselves, these simple inexpensive measures can sometines reduce consumption by 30 per cent in some buildings. At the other end are the more complex and costly measures, involving complete analysis of a building's sub-systems at all levels. This of course includes illumination systems.

Parmi ces objectifs essentiels au niveau national, la conservation de l'énergie est actuellement un de ceux qui concernent particulièrement notre Ministère. Pendant les quelques années qui viennent de s'écouler, nous avons joué un rôle prédominant pour promouvoir la conservation de l'énergie dans les ministères et organismes qui sont nos clients, ainsi qu'avec les promoteurs et propriétaires immobiliers au Canada.

Nous sommes fiers de ce qui a été accompli dans ce domaine. Par exemple, les nouveaux immeubles du gouvernement fédéral dans la région de la capitale nationale, ne consomment qu'un tiers de l'énergie consommée par les immeubles plus anciens, conçus avant la crise de l'énergie. De plus, nous parvenons remarquablement bien à réduire la consommation dans les immeubles anciens. Dans l'ensemble, pour tous les types d'immeuble, notre objectif initial était de réduire de 30% sur cinq ans la consommation au mètre carré. Nous avons récemment rehaussé cet objectif et nous prévoyons accentuer cette réduction.

Ceci a été accompli de différentes façons; certaines très directes, impliquant de faibles investissements, d'autres plus sophistiquées, exigeant de nombreux travaux de recherche et dépenses en capital.

Parmi les mesures les plus simples qui peuvent être prises rapidement, et qui ont un effet appréciable, citons l'utilisation de régulateurs thermiques pendant les nuits et fins de semaine; la diminution de vitesse des ventilateurs et l'abaissement de la température de l'eau chaude. Nous avons bien sûr également supprimé des lampes. En elles-mêmes, ces mesures simples et peu onéreuses peuvent parfois réduire la consommation de 30% dans certains bâtiments. À l'autre extrême, sont les mesures plus complexes et plus coûteuses, exigeant une analyse complète des sous-systèmes d'un bâtiment à tous les niveaux, y compris bien sûr les systèmes d'éclairage.

It seems to me that the challenges, facing illumination design, are greater and more subtle today, than ever before. This is because of the complex multi-disciplinary considerations, involved in measuring visual performance.

When energy was plentiful and cheap, thresholds of visual performance were not nearly so critical, from an economic standpoint. Generally, in office buildings for example, we could afford to provide a good deal more illumination, than was strictly required and there was no need to define, with any great precision, where the thresholds were for adequate illumination.

Today, the need to conserve has imposed an urgent requirement for a new degree or precision on the measurement of visual performance and these more refined elements must be taken-up in illumination design. This is a complex multi-disciplinary process, involving the interaction of a great variety of specialists.

I would like to mention, though, my Department's important role on the development side, particularly by our own analytical and measurement techniques and the enormous data base derived from our large inventory of buildings. As a result, we are in a strong position to contribute in an important way to the new design technology in the field of illumination.

The stakes are very high and carry a heavy responsibility for those charged with the task. This is an age where the ethical responsibilities of people of science and technology are more important than ever before. This is why we must keep before us that this is more than a narrow issue of energy economics. It has much wider social implications for health, both physical and mental, and also for productivity. The adverse implications of inadequate lighting on these factors is well known in general terms. And I guess that is the nub of the issue. Part of the problem is defining just where these adverse effects begin.

Il semble que les défis posés par la conception de l'éclairage soient aujourd'hui plus importants et plus subtils qu'ils ne l'ont jamais été; ceci en raison des multiples disciplines qui interviennent dans la mesure de la performance visuelle.

Lorsque les ressources énergétiques étaient abondantes et bon marché, les seuils de performance visuelle étaient loin d'être aussi critiques, du point de vue économique. En général, les immeubles de bureaux, par exemple étaient nettement plus éclairés qu'il n'était strictement nécessaire et il n'y avait aucun besoin de définir très précisément la valeur exacte des seuils d'éclairement.

De nos jours, le besoin de conserver l'énergie nous impose de mesurer la performance visuelle avec un nouveau degré de précision et ces éléments plus sophistiqués doivent être pris en compte dans la conception de l'éclairage. Il s'agit donc d'un processus multidisciplinaire complexe qui fait intervenir de nombreux spécialistes.

Je voudrais mentionner le rôle important joué par notre Ministère en ce qui concerne le développement, grâce en particulier à nos propres techniques d'analyse et de mesure, et à l'imposante base de données provenant de nos différents bâtiments. Nous sommes donc en position de force pour contribuer à la nouvelle technologie de conception dans le domaine de l'éclairage.

L'enjeu est gros et représente une lourde responsabilité pour ceux qui sont chargés d'accomplir la tâche. À notre époque, les responsabilités éthiques des hommes de science et de technologie sont d'une importance sans précédent. C'est pourquoi nous ne devons pas oublier qu'il ne s'agit pas seulement d'une question d'économie énergétique, mais d'un problème ayant un impact social beaucoup plus étendu sur la santé, physique et mentale, et aussi sur la productivité. Les effets adverses que peut avoir sur ces facteurs un mauvais éclairage, sont bien connus en termes généraux. Et je crois que toute la question est là; une partie du problème consiste à savoir où commencent ces effets adverses.

Public Works Canada is particularly concerned with this issue, because more than 300,000 government employees work in our buildings. We insist that they have the best practicable working environment -- one which is safe, productive, healthy and pleasant.

The complexity of your task, I know, is a spur to your efforts and I am confident that the proceedings of our symposium will help point the way toward the crucial balance between energy costs and the environmental standards of the work place. I welcome you and congratulate you and wish you well in your work.

The Honourable Paul Cosgrove
Minister of Public Works Canada

Travaux publics Canada est particulièrement concerné par ce problème, car plus de 300,000 employés du gouvernement travaillent dans nos bâtiments. Nous tenons à ce qu'ils travaillent dans les meilleures conditions, dans un environnement qui soit sûr, sain, productif et agréable.

La complexité de notre tâche est un élément stimulant, et je suis sûr que le compte rendu de ce colloque nous aidera à trouver la voie de l'équilibre entre les coûts énergétiques et les normes établies pour les milieux de travail. En vous souhaitant la bienvenue, je me permets de vous féliciter pour le travail réalisé et de vous souhaiter bonne chance dans ce qui reste à accomplir.

L'honorable Paul Cosgrove
Ministre de Travaux publics Canada

Robert E. Jennings, B.Sc.(E.E.),
P. Eng., FIES, MCIBS
Head, Illumination Engineering Section
Electrical Engineering Division
Public Works Canada
Ottawa, Canada
K1A 0M2

Chairman:

"International Round Table Symposium Integration of Visual Performance Criteria into the Illumination Design Process"

Robert E. Jennings graduated in electrical engineering from the University of New Brunswick in 1947. He joined Canadian Westinghouse Company Limited. Prior to leaving the Company he was Product Manager, Outdoor Lighting Products and Components. He joined Public Works Canada in 1972. He is responsible for the development of illumination engineering and the development of new application and design technology. In 1980 he was elected a Fellow of the Illuminating Engineering Society of North America (IESNA). He has served on several technical committees including the Technical Review Board, the Design Practices Committee and is past member of the Executive Committee. He is a member of the Canadian National Committee of the International Commission of Illumination (CIE) and is Canadian delegate on CIE TC-4.2 Daylighting. He is also a registered professional engineer in the Province of Ontario and a member of the Chartered Institute of Building Services (CIBS) England. Mr. Jennings is author of numerous technical papers on illumination topics, design standards and energy conservation guidelines for use in the design and construction of Federal Government accommodations and facilities. His achievements also include the introduction of computer-aided design in Canada and the training to date of several hundred participants in the analysis and evaluation of proposed lighting system design.

Robert E. Jennings, B.Sc. (E.E.),
Ing. prof., FIES, MCIBS
Chef, section d'ingénierie de l'éclairage
Division du génie électrique
Travaux publics Canada
Ottawa (Canada)
K1A 0M2

Président:

"Colloque international sur l'intégration des critères de performance visuelle au processus de conception d'éclairage"

Robert E. Jennings est diplômé en génie électrique de l'Université du Nouveau-Brunswick (1947). Il est entré à Canadian Westinghouse Company Limited. Avant de quitter cette société, il fut directeur de production, produits et composants d'éclairage extérieur. Il entra à Travaux publics Canada en 1972. Il est chargé du développement, de l'éclairagisme et de l'élaboration de nouvelles technologies d'application et de conception. En 1980, il fut élu membre de la Illuminating Engineering Society of North America (IESNA). Il participa à plusieurs comités techniques comprenant la Commission d'examen technique, le Comité des pratiques de conception, et il fut membre du Comité exécutif. Il est membre du Comité national canadien de la Commission internationale de l'éclairage (CIE) et délégué canadien du Comité TC-4.2 de la CIE sur l'éclairage utilisant la lumière du jour. Il est également ingénieur professionnel inscrit dans la province de l'Ontario et membre de la Chartered Institute of Building Services (CIBS) en Grande-Bretagne. M. Jennings est l'auteur de nombreux articles techniques portant sur l'éclairage, les normes de conception et la construction des bâtiments et installations du gouvernement fédéral. Il a introduit la conception informatisée au Canada et a organisé la formation de plusieurs centaines de participants, pour l'analyse et l'évaluation de la conception des systèmes d'éclairage.

OPENING REMARKS

International Round Table Symposium
by
R.E. Jennings
Symposium Chairman

I would like to open our symposium by briefly:

- outlining Public Works' interest in the construction field in Canada;
- commenting on standards and guidelines published within the department;
- referring to various programs we are working on or which are proposed for implementation in the near future;
- and then state our interests in hosting this International Round Table Symposium.

Public Works Canada exists, essentially, to do two things, to provide **realty management** and **service** to the Federal Government of Canada. In the first, it acts within the limits of its authority as Federal Government agent to ensure that the billions of dollars in existing Federal real property, as well as investment of some half-a-billion dollars in new property each year bring the best return. In the second, it serves as an agent for Federal departments and Crown corporations, making sure that they have the necessary accommodations, lands and land improvements to discharge their responsibilities effectively.

It is our service role that I want to talk about.

DISCOURS D'OUVERTURE

Colloque international
par
R.E. Jennings
Président du colloque

En guise d'ouverture, je voudrais pouvoir brièvement:

- souligner l'intérêt porté par Travaux publics Canada au domaine de la construction;
- apporter quelques commentaires concernant les normes et directives publiées au sein du Ministère;
- faire référence aux différents programmes sur lesquels nous travaillons ou dont la mise en oeuvre a été proposée pour un avenir proche;
- et préciser l'intérêt avec lequel nous accueillons ce Colloque international.

Travaux publics Canada a essentiellement deux fonctions, consistant à assurer la **gestion immobilière** et à fournir des **services** au gouvernement fédéral du Canada. Pour la première de ces fonctions, Travaux publics Canada agit dans les limites de ses responsabilités comme agent du Gouvernement fédéral chargé d'assurer le meilleur rapport possible pour les biens immobiliers du fédéral se montant à quelques milliards de dollars, et les investissements en nouvelles propriétés immobilières, se montant chaque année à un demi-milliard de dollars. Dans le cadre de cette deuxième fonction, il est agent auprès des ministères du fédéral et des sociétés de la Couronne, afin qu'ils aient les locaux, terrains et améliorations nécessaires pour remplir efficacement leurs responsabilités.

C'est ce rôle de service dont je voudrais parler.

Public Works is a realty organization of the Federal Governement, taking care of accommodation needs in buildings, lands' improvements and the maintenance of nearly 90 departments and agencies. The Department constructs office buildings, post offices, libraries, research centres, penitentiaries, hospitals and other special purpose buildings for clients. It is an important responsibility and carrying it out has projected us into being Canada's biggest landlord, its biggest architectural, engineering and construction management company, and its most extensive developer and manager of land and buildings.

Travaux publics est l'organisme immobilier du gouvernement fédéral, chargé de s'occuper des besoins en locaux, de l'amélioration des terres et de l'entretien, pour environ 90 ministères et organismes. Le Ministère construit pour ses clients des immeubles de bureaux, bureaux de poste, bibliothèques, centres de recherche, pénitenciers, hôpitaux et autres immeubles de fonction définie. Le fait d'assumer cette importante responsabilité nous a fait devenir le plus grand propriétaire du Canada, sa plus grande société d'architecture, d'ingénierie et de construction, et l'organisme le plus important d'aménagement des terres et de gestion des immeubles.

We are the professional agents then, to our clients. This is true in still another sense, even though the largest part of the actual design and most of the construction work required by the Government of Canada is actually undertaken by private contractors and consultants. As an agent, we are "Project Managers" in arranging for and managing some private sector undertaking, and responsible generally for ensuring that the services provided not only meet our needs but that the building is designed and constructed to provide optimal performance of all facilities, systems and human resources, while still reflecting an economy and standard of construction and operating cost comparable to that of private industry. Energy Conservation is certainly one of the prime objectives in the design of new accommodations as well as in the 4,000 buildings owned and operated by the Department.

Nous sommes donc, pour nos clients, des agents spécialisés. Ceci est encore vrai dans un autre sens, bien que la plus grande partie des travaux de conception et de construction effectués pour le gouvernement du Canada soient en réalité réalisés par des entrepreneurs et consultants privés. En tant qu'agents, nous somme "directeurs de projet" pour l'organisation et la gestion de certaines réalisations du secteur privé, et nous sommes en général chargés de faire en sorte que les services fournis répondent non seulement à nos besoins mais également que le bâtiment soit conçu et construit pour permettre une performance optimale de tous les systèmes, installations et ressources humaines, tout en adoptant des normes de construction, éléments économiques et coûts de fonctionnement comparables à ceux de l'industrie privée. La conservation de l'énergie est certainement l'un des premiers objectifs dans la conception des nouveaux bâtiments, comme dans les 4 000 immeubles appartenant au Ministère et exploités par lui.

I think you will agree we have a real interest in the building construction industry in Canada.

Vous conviendrez donc que nous avons un intérêt bien réel dans l'industrie du bâtiment au Canada.

The Electrical Engineering Division of Public Works Canada provides engineering services associated with the planning, design, specifications, estimates, construction, operation and maintenance of such accommodation. These activities include the provision of specialized advice through consulting services by a group of specialists in their respective fields, research and development of engineering and performance standards, the development and recommendation of policy.

With regards to the latter, the Department must ensure that standards and guidelines affecting visual performance recognize the latest illumination engineering concepts and technology and be energy-efficient in design, performance, operation and maintenance. To ensure this, we carry out extensive programs for the development of new application and design criteria.

We are presently working on seven major programs in the field of illumination engineering. These are:

(1) Special Illumination Program;
(2) Field Support Program;
(3) Opportunity Planning Program;
(4) Testing and Evaluation Program;
(5) Lighting Maintenance Program;
(6) Daylighting;
(7) Analysis and Evaluation of Lighting Systems in Support of Environmental Studies.

La Division du génie électrique de Travaux publics Canada fournit des services d'ingénierie pour la planification, la conception, les spécifications, les budgets, la construction, l'exploitation et l'entretien des installations. Ces activités comprennent des services de consultation et d'avis spécialisés, assurés par un groupe de spécialistes dans leurs domaines respectifs, la recherche et développement pour les normes techniques et de performance, l'élaboration des principes et recommandations.

En ce qui concerne le dernier point, le Ministère doit veiller à ce que les normes et directives affectant la performance visuelle prennent en compte les concepts techniques et technologies les plus récents dans le domaine de l'éclairage, et que leur conception, leur performance, leur fonctionnement et leur entretien permettent d'économiser l'énergie. Dans ce but, nous élaborons des programmes étendus pour le développement de nouveaux critères d'application et de conception.

Nous travaillons actuellement sur sept programmes principaux dans le domaine de l'éclairage. Ce sont:

1) Le Programme spécial sur l'éclairage;
2) Le Programme de soutien extérieur;
3) Le Programme de planification des possibilités;
4) Le Programme de vérification et d'évaluation;
5) Le Programme de maintenance pour l'éclairage;
6) Lumière du jour;
7) Analyse et évaluation des systèmes d'éclairage pour les études environnementales.

These various programs provide the factual data which in our opinion should enable us to predetermine the energy-effectiveness of new systems, specify effective control of artificial and natural lighting, pre-plan luminaire positions, confirm the characteristics and uniformity of components, locate work stations most effectively, ensure that the task is adequately but not excessively illuminated while the task materials and environment are conducive to the optimum utilization of the energy consumed in the environmental systems, allowing for full physical and psychological requirements of the people working and living in the space.

Les données obtenues à l'aide de ces différents programmes devraient, à notre avis, nous permettre de prédéterminer pour les nouveaux systèmes dans quelle mesure ils permettent d'économiser l'énergie, de définir un contrôle efficace de la lumière artificielle et naturelle, de faire une planification préalable des emplacements des luminaires, de confirmer les caractéristiques et l'uniformité des éléments, de localiser les caractéristiques et l'uniformité des éléments, de localiser plus efficacement les postes de travail, de faire en sorte que les tâches soient éclairées de manière appropriée mais sans excès, et que les matériaux de l'environnement permettent une utilisation optimale de l'énergie consommée dans les systèmes, en répondant pleinement aux exigences physiques et psychologiques des personnes qui travaillent et vivent dans l'espace considéré.

It should be possible to test, for example, a complete range of lenses of all manufacturers under dynamic test conditions in order to establish actual transmission, polarization, distribution pattern and average brightnesses, ratio of maximum to average brightness, ESI illuminance at a point, raw illuminance, CRF, LEF, etc. This would provide accurate advance information and enable specification of the most suitable lens for any particular application.

Il doit être possible de vérifier, par exemple, une gamme complète de lentilles provenant de plusieurs fabricants en faisant des tests dynamiques afin d'établir les valeurs réelles de transmission et de polarisation, la configuration de lumière et la luminosité moyenne, le rapport de la luminosité maximale à la luminosité moyenne, l'éclairement ESI en un point, l'éclairement brut, les paramètres CRF, LEF, etc. Le fait de disposer à l'avance de ces informations précises nous permettrait de déterminer la lentille convenant le mieux pour une application donnée.

There is **one important fact** I would like to **emphasize** at this time. **All** programs presently being worked on **or** proposed for implementation have been planned to achieve **one** common **objective**, and that is:

Je voudrais maintenant insister sur **un point important.** Tous les programmes sur lesquels nous travaillons actuellement ou dont la mise en oeuvre a été proposée, sont conçus pour remplir un objectif commun, qui est le suivant:

"To create new application and design technology to permit the design and installation of energy effective lighting systems in Federal Government buildings".

"Créer une nouvelle technologie de conception et d'application permettant la conception et l'installation de systèmes d'éclairage économisant l'énergie, dans les bâtiments du gouvernement fédéral".

Since these programs (present and proposed) are inter-dependent, progress in one area often permits us to make significant progress in other areas.

Our main thrusts are:

(a) with regards to energy conservation in both existing and new buidings; and
(b) developing new technology to analyze and evaluate visual environments in terms of their impact on the total working environment.

Next, I would like to outline our reasons for organizing and hosting this International Round Table Symposium.

First, it is our considered opinion that we must be very concise in stating the **quantity** and **quality** of illuminance required in carrying out energy conservation retrofit program in existing buildings and in designing illumination systems for new buildings.

Our second reason for holding this symposium is the need to characterize lighting as a major contributor to creating pleasant working environments. What are the important factors to be considered in optimizing and ranking lighting systems at workstations and in interior spaces? Work is underway to quantify and qualify installed illumination systems using a B&K luminance contrast meter. Gonio profile measurements of the Type 1104 Luminance Contrast Standard have been made and this data together with correction factors has been inputed into a computer lighting analysis program, which is accessible on a national computer network in Canada.

Puisque ces programmes "actuels et proposés" sont interdépendants, les progrès réalisés dans un domaine nous permettent souvent de réaliser des progrès importants dans d'autres domaines.

Nos domaines d'intervention sont les suivants:

a) la conservation de l'énergie dans les bâtiments existants et les nouveaux bâtiments,
b) le développement d'une technologie nouvelle pour l'analyse et l'évaluation des environnements visuels et de leur impact sur l'ensemble du milieu de travail.

Je voudrais ensuite préciser les raisons pour lesquelles nous organisons et accueillons ce Colloque international.

Tout d'abord, nous estimons qu'il est nécessaire d'être très concis en indiquant la **quantité** et la **qualité** de l'éclairage requis dans le cadre du Programme de réadaptation des bâtiments existants pour améliorer la conservation de l'énergie, et dans le cadre de la conception des systèmes d'éclairage des nouveaux bâtiments.

La deuxième raison pour laquelle nous accueillons ce colloque, est liée à la nécessité de définir l'éclairage comme un élément majeur contribuant à créer d'agréables conditions de travail. Quels sont les facteurs importants à considérer pour optimiser et classer les systèmes d'éclairage des postes de travail et des espaces intérieurs? Des études sont actuellement en cours pour quantifier et qualifier, à l'aide d'un appareil B&K mesurant le contraste de luminance, pour les systèmes d'éclairage installés. On a établi, au goniomètre, la distribution de la norme de contraste de luminance, type 1104, et on a introduit ces données, avec les facteurs de correction, dans un programme informatique d'analyse de l'éclairage, auquel on peut avoir accès, au Canada, par un réseau informatique national.

This permits us to make field measurements of contrast, contrast reduction, luminance and luminance ratio. We now have the capability of quantifying many factors and studying their affect on the quality of lighting for example at a workstation.

Specifically, we hope this assembly during the next three days will be able:

(1) - to determine the validity of CIE No. 19/2 and reach agreement, possibly by consensus, that it is indeed ready for trial, implementation and applied development.

- alternatively, to identify the research required to permit its use in the near future.

(2) - to determine if all or parts of CIE No. 19/2 can be used:

in the design of illumination systems,

and

in analyzing, evaluating and comparing existing systems.

(3) - to identify new procedures which could be developed for specifying illumination systems designed on the basis of visual performance.

(4) - to develop new techniques for the analysis and evaluation of installed lighting systems to validate compliance with visual performance design criteria.

The greatest resource in any country is the energy and dedication of its workforce. Visual performance, as a potential design parameter and possible metric of human productivity, could be a key factor in our achieving, a more comfortable, productive and energy efficient visual environment.

Ceci nous permet de faire des mesures de contraste, de réduction de contraste, de luminance et de rapport de luminance. Nous avons maintenant la possibilité d'évaluer de nombreux facteurs et d'étudier leurs effets sur la qualité de l'éclairage, au poste de travail par exemple.

Plus précisément, nous espérons, pendant ces trois jours, remplir les objectifs suivants:

1) - déterminer la validité du rapport n° 19/2 de la CIE, et parvenir au consensus selon lequel il est prêt pour la mise à l'essai, la mise en oeuvre et l'application.

- sinon, de définir les recherches nécessaires pour permettre son utilisation dans un avenir proche.

2) - déterminer si toutes les parties du rapport n° 19/2 de la CIE peuvent être utilisées;

dans la conception des systèmes d'éclairage,

et

dans l'analyse, l'évaluation et la comparaison des systèmes existants.

3) - identifier de nouvelles procédures pouvant être développées pour la détermination des systèmes d'éclairage fondés sur la performance visuelle.

4) - développer de nouvelles techniques pour l'analyse et l'évaluation des systèmes d'éclairage installés afin qu'ils respectent les critères de conception liés à la performance visuelle.

La plus grande ressource d'un pays, outre l'énergie, est le travail de sa population active. En tant que paramètre potentiel de conception et étalon possible de productivité, la performance visuelle peut devenir un facteur clé dans la création d'un environnement visuel plus confortable, plus productif et économisant mieux l'énergie.

If we can achieve this output it will enable us: (1) to develop new illumination standards and lighting energy conservation guidelines and (2) to create new procedures for considering visibility levels or the visual performance potential of a system in cost-benefit analysis.

I hope that this group can achieve its stated objective, namely:

"to develop a logical approach towards the integration of visual performance criteria into the 1) design, 2) specification and 3) the evaluation of interior illumination systems".

January 25, 1982

Si nous parvenons à atteindre ce résultat, il nous permettra, 1) d'établir de nouvelles normes d'éclairage et de nouvelles directives de conservation de l'énergie et 2) de créer de nouvelles procédures pour la prise en compte, dans l'analyse des coûts-bénéfices, des niveaux de visibilité ou du potentiel de performance visuelle d'un système.

Je souhaite que ce groupe puisse atteindre l'objectif qu'il s'est défini, notamment:

"élaborer une approche logique pour l'intégration des critères de performance visuelle dans 1) la conception, 2) la spécification, et 3) l'évaluation des systèmes d'éclairage intérieur".

le 25 janvier 1982

Note: The technical papers in this publication have been submitted by the authors. Further questions should be addressed directly to them.

Note: Les documents techniques de la présente publication ont été soumis par les auteurs. Toutes questions soulevées devraient être adressées aux auteurs mêmes.

TABLE OF CONTENTS

Page

OPENING REMARKS

- The Honourable Paul Cosgrove - Minister of Public Works i

- R.E. Jennings - Symposium Chairman v

POSITION PAPERS

European Views on Visual Performance Criteria in Lighting
Dr. Dietert Fischer 1

Lighting Design - A Practitioner's Problem
Howard Brandston 41

Can the CIE concept of visual performances be applied to prescribe levels of interior lighting
Dr. J.J. Vos 52

Field Measurements of Lighting For Visual Performance Potential
Dr. J.A. Lynes 65

The Validity of the Relative Contrast Sensitivity Function for Modelling Threshold and Suprathreshold Responses
Dr. M.S. Rea 76

The Integration of Visual Performance into the Illumination Design Process - "The Australian Position"
Kevin Poulton 109

The Application of the ESI System to Office Lighting
Isaac Goodbar 122

Relating Productivity to Visibility and Lighting
Dr. Robert Clear and
Dr. Samuel Berman 184

TABLE DES MATIÈRES

DISCOURS D'OUVERTURE

- L'Honorable Paul Cosgrove, Ministre des Travaux publics

- R.E. Jennings - Président du colloque

DOCUMENTS DE POSITION

Points de vue européens concernant les critères de performance visuelle dans l'éclairage
Dr Dietert Fischer

La conception de l'éclairage - un problème pratique
Howard Brandston

Le rapport 19/2 de la CIE est-il un instrument utile en éclairage intérieur?
Dr J.J. Vos

Évaluation du potentiel de performance visuelle: mesures de l'éclairage en situation réelle
Dr J.A. Lynes

Validité de la fonction de sensibilité différentielle relative pour la modélisation des réactions liminales et suppraliminales
Dr M.S. Rea

L'intégration de la performance visuelle au processus de conception d'éclairage - Considérations australiennes
Kevin Poulton

Application du système ESI à l'éclairage de bureau
Isaac Goodbar

En quoi la productivité dépend-elle de la visibilité et de l'éclairement
Dr Robert Clear et
Dr Samuel Berman

The Use of Visual Performance Criteria in Great Britain
Dr. Peter Boyce 213

On the Contrast Sensitivity of the Human Eye
Dr. Werner K. Adrian 224

Summary Review of Reactions to CIE Report No. 19/2 Received from the International Lighting and Vision Community
and
Summary Description of a Proposed Probabilistic Measure of Visual Performance Potential for Use in Evaluating Installations of General - Purpose Interior Lighting
Dr. H. Richard Blackwell 257

Effects of Individual Differences on the Need for Illumination as Revealed by the New CIE Model
Mrs. O. Mortenson Blackwell 285

Present State of Correlation Between Field Measurements and Pre-Calculated Values of CRF and ESI Using Current Instrumentation
Mrs. M.G. Bassett, P.Eng. F.I.E.S. 330

Visual Performance Criteria - A Review of the Problems and Opportunities
Dr. Ian Lewin, F.I.E.S. 349

Position Statement on Lighting Performance Criteria
James W. Griffith 355

A Building Research Establishment View of CIE 19/2
Dr. V.H.C. Crisp 359

Criteria for Recommending Lighting Levels
Dr. Gary T. Yonemura 367

L'utilisation des critères de performance visuelle en Grande-Bretagne
Dr Peter Boyce

La sensibilité relative au contraste de l'oeil
Dr Werner K. Adrian

Aperçu sommaire des réactions au rapport CIE nº 19/2, soumises par les spécialistes internationaux de l'éclairage et de la vision
et
Description sommaire d'une mesure probabiliste proposée du potentiel de performance visuelle, permettant d'évaluer les installations d'éclairage polyvalent d'intérieur
Dr. H. Richard Blackwell

Effets des différences personnelles sur le besoin d'éclairage, tel que révélé par le nouveau modèle CIE
Mme O. Mortenson Blackwell

Corrélation actuelle entre les mesures réelles et les valeurs calculées du CRF et du ESI, au moyen des instruments existants
Mme M.G. Bassett, P.Eng. F.I.E.S.

Critères de performance visuelle - Aperçu des problèmes et des possibilités
Dr Ian Lewin, F.I.E.S.

Document sur les critères de performance en matière d'éclairage
James W. Griffith

Comment le CRF voit-il la publication CIE 19/2?
Dr V.H.C. Crisp

Critères pour la recommandation de niveaux d'éclairage
Dr Gary T. Yonemura

RECOMMENDATIONS AND PROCEEDINGS FROM THE SYNDICATE GROUPINGS

SYNDICATE NO. 1 - Topic: The Role of Visual Performance in Lighting Design and Specifications 431

SYNDICATE NO. 2 - Topic: Visual Performance Evaluation 446

SYNDICATE NO. 3 - Topic: Visual Performance Research Required 462

CONCLUSIONS 475

RECOMMANDATIONS ET COMPTE-RENDU DES ATELIERS DE GROUPE

ATELIER Nº 1 - Sujet: Rôle de la performance visuelle dans la conception et la spécifications d'éclairage

ATELIER Nº 2 - Sujet: Évaluation des performances visuelles

ATELIER Nº 3 - Sujet: Études requises sur la performance visuelle

CONCLUSIONS

Professor Dr. Dietert Fischer
Chief Editor
International Lighting Review
P.O. Box 721
Eindhoven, Netherlands

Professeur Dr Dietert Fischer
Rédacteur en chef de la
International Lighting Review
C.P. 721
Eindhoven, Pays-Bas

ABOUT THE AUTHOR

Prof. Dr. Dietert Fischer studied physics at the universities of Berlin and Hamburg and joined the German Philips organization in 1952 where he became responsible for the lighting application group. He became manager of the luminaire department in 1963 and, in 1968, Lighting Laboratory in Aachen. From 1970 until 1979 he was head of the Lighting Design and Engineering Centre at the Philips headquarters in Eindhoven, the Netherlands. He has been Chief Editor of the International Lighting Review since 1976. In 1978, he was appointed Professor for Lighting Engineering at the University of Technology of Eindhoven. Dr. Fischer is chairman of the Technical Committee TC-4.1 'Interior Lighting' of the International Commission on Illumination (CIE). He is a Fellow of the British Chartered Institution of Building Services and a Member of the lighting societies of the USA, Germany and the Netherlands.

L'AUTEUR

Le **professeur Dr Dietert Fischer** a étudié la physique à l'université de Berlin ainsi qu'à l'université d'Hambourg. Il a joint la société allemande Philips en 1952, à titre de responsable du groupe des applications d'éclairage. En 1963, il est devenu directeur du département des luminaires de la même société et, en 1968, directeur du laboratoire d'éclairage à Aachen. De 1970 à 1979, il a dirigé le Lighting Design and Engineering Centre de la maison Philips, à Eindhoven, aux Pays-Bas. Le professeur Fischer est rédacteur en chef de la International Lighting Review depuis 1976. En 1978, il enseigne au département d'éclairagisme à l'Université de technologie de Eindhoven. Le professeur Fischer est président du comité d'études TC-4.1, Éclairage intérieur, de la Commission internationale de l'éclairage (CIE). Le professeur Fischer est membre du British Chartered Institution of Building Services ainsi que des sociétés d'éclairage des États-Unis, de l'Allemagne et des Pays-Bas.

EUROPEAN VIEWS ON VISUAL PERFORMANCE CRITERIA IN LIGHTING

European investigations

Although the first investigations on the relation between visual performance and illuminance were carried out in Europe (Weston 1922, 1926, 1945 and 1953, German investigations in 1931, 1956, 1961 and 1962, Dutch investigations in 1951), the results were only used to get some general information on this subject, but not to derive illuminance recommendations for specific tasks.

The conclusions from these investigations can be summarized as follows:

- The trend in visual performance is always towards optimum values with increase in illuminance. Above a certain illuminance, the value of which depends on the size and contrast of the visual task, there is little to be gained from increasing the illuminance any further.

- The loss in visual performance associated with large reductions in size and contrast of the visual task cannot be fully made up for by an increase in illuminance. The more difficult the task the lower is the 'saturation' value of visual performance.

- The results obtained apply strictly to the specific task investigated only and cannot be generalized to other tasks.

European Common Viewpoints for revision of codes for interior lighting

After the energy crisis of 1973 discussions started all over the world on possibilities to conserve energy and to save costs, and, as a consequence of this, also on suitable lighting levels.

POINTS DE VUE EUROPÉENS CONCERNANT LES CRITÈRES DE PERFORMANCE VISUELLE DANS L'ÉCLAIRAGE

Études européennes

Bien que les premières enquêtes sur la relation entre la performance visuelle et l'éclairement lumineux aient été effectuées en Europe (Weston 1922, 1926, 1945 et 1953, études allemandes en 1931, 1956, 1961 et 1962, enquêtes hollandaises en 1951), les résultats n'ont fourni que quelques renseignements généraux sur ce sujet; on n'en a pas tiré des recommandations d'éclairement lumineux pour des tâches précises.

On peut résumer comme suit les conclusions de ces enquêtes:

- La performance visuelle tend toujours vers des valeurs optimales lorsqu'on augmente l'éclairement lumineux. Au-delà d'un certain éclairement, seuil dont la valeur dépend de la dimension et du contraste de la tâche visuelle, on ne peut guère réaliser des gains en augmentant davantage l'éclairement.

- On ne peut pas compenser entièrement, au moyen d'une augmentation d'éclairement lumineux, la perte de performance visuelle due à une forte réduction de la grandeur et du contraste de la tâche visuelle. Plus la tâche est difficile, et plus la valeur de "saturation" de la performance visuelle est faible.

- Les résultats obtenus se rapportent uniquement à la tâche spécifique étudiée; on ne peut pas les généraliser en rapport avec d'autres tâches.

Points de vue européens communs pour la révision des codes d'éclairage d'intérieur

Suite à la crise énergétique de 1973, le monde entier s'est mis à examiner les moyens permettant de conserver l'énergie et de réaliser des économies; par conséquent, on a examiné aussi les niveaux d'éclairement qui seraient appropriés.

In this situation the Dutch Lighting Society took the initiative for discussions between delegates of Lighting Societies from eleven European countries on common viewpoints for revision of codes for interior lighting. The result was laid down in a document (1974) containing more definite guidelines than those of the CIE Guide on Interior Lighting which was published about one year later (1975). In the illuminance recommendation of this document (table 1) the results of the investigations mentioned above and CIE Publication No. 19 (1972) 'A Unified Framework of Methods for Evaluating Visual Performance Aspects of Lighting' were observed in a general way only. The illuminance range of table 1 was predominantly based on the following findings and considerations:

- 200 lux is regarded as the minimum acceptable horizontal illuminance for interiors used for continuous work because human features can be satisfactorily recognized (Fischer, 1973) and the appearance of many working interiors is gloomy at illuminances less than about 200 lux.

Vu cette situation, la Dutch Lighting Society (Société hollandaise d'éclairage) a entamé des pourparlers entre les délégués des sociétés d'éclairage d'onze pays européens, sur les points de vue communs pour la révision des codes d'éclairage d'intérieur. Il en a résulté un document (1974) contenant des lignes directrices plus arrêtées que celles du Guide CIE d'éclairage d'intérieur, publié environ une année plus tard (1975). La recommandation de ce document concernant l'éclairement lumineux (tableau 1) ne tenait compte que d'une façon très générale des résultats des enquêtes susmentionnées et de la publication CIE nº 19 (1972) intitulée "Cadre méthodologique uni pour l'évaluation des aspects de l'éclairage concernant la performance visuelle". La gamme d'éclairement lumineux du tableau 1 est basée essentiellement sur les constatations et considérations suivantes:

- On considère que 200 lux est l'éclairement lumineux horizontal minimum acceptable pour les intérieurs où se fait un travail continu, parce que cette valeur permet de reconnaître de manière satisfaisante les détails du visage humain (Fischer, 1973) et que l'aspect de nombreux intérieurs de travail est déprimant à des éclairements inférieurs à environ 200 lux.

Illuminance/ Éclairement lumineux (lux)	Examples/Exemples
200	minimum service illuminance on the task/ éclairement lumineux de service minimal sur la tâche
300	rough bench and machine work, casual reading/ travaux grossiers au banc et avec des machines, lecture récréative
500	normal office work, medium bench and machine work, shops and stores/ travail normal de bureau, travail moyen au banc et avec des machines, magasins
750	drawing offices, deep plan general offices/ bureaux de dessin, bureaux généraux échelonnés en profondeur
1000	fine bench and machine work, colour inspection/ travaux minutieux au banc et avec des machines, inspection des couleurs

Table 1: Service illuminances for general lighting in working interiors as recommended in European countries.

Tableau 1: Éclairement lumineux de service, pour l'éclairage général des intérieurs de travail, tel que recommandé dans les pays européens.

- Illuminances in the order of 500 lux (luminances around 100 cd/m^2) have proved to be very suitable for many visual tasks in offices and industry.

- A level of 1000 lux is near to maximum satisfaction for general lighting in interiors. Higher values may give rise to complaints of excessive light by some workers, and may lead to a disturbing degree of veiling reflections due to the high percentage of ceiling surface covered with luminaires.

Since the publication of the European Common Viewpoints new codes for interior lighting have been issued in Great Britain (1977), France (1977) and Germany (1979), all of them being in line with the illuminance recommendations given in table 1.

In the meantime, no new discussions on adequate illuminance levels have taken place between European countries.

International discussions on CIE Publication No. 19/2

During the CIE Conference in London 1975 a joint meeting of CIE TC-3.1 'Visual Performance' and CIE TC-4.1 'Interior Lighting' took place with the intention of looking for possibilities to derive from the draft CIE Publication No. 19/2 reasonable illuminances, from the productivity point of view, to be applied to specific visual tasks occurring in practice. It was the opinion of that time that this problem could be solved by agreeing on typical 'standard tasks' in various commercial and industrial activities, by determining the Equivalent Contrasts of these standard tasks, and then applying the procedure as given in Publication No. 19/2. For this purpose a working group was established, consisting of members from the USA and Europe, and headed by Bob Dorsey (USA). It was the intention, first to wait for results from an American group which was supposed to start work in this respect, and then to prepare international recommendations.

- Les éclairements de l'ordre de 500 lux (luminances lumineuses d'environ 100 cd/m^2) se sont révélés très convenables pour de nombreuses tâches visuelles de bureau et dans l'industrie.

- Le niveau de 1000 lux est proche de la satisfaction maximale pour l'éclairage général d'intérieur. Des valeurs supérieures risquent d'entraîner des plaintes "d'éclairage excessif" de la part de certains travailleurs, et peuvent entraîner une quantité alarmante de réflexions de voile dues au pourcentage élevé de superficie de plafond recouverte de luminaires.

Depuis la publication des points de vue européens communs, de nouveaux codes d'éclairage intérieur ont été adoptés en Grande-Bretagne (1977), en France (1977) et en Allemagne (1979); ils sont tous conformes aux recommandations d'éclairement lumineux du tableau 1.

Dans l'entretemps, il n'y a pas eu, dans les pays d'Europe, de nouvelles discussions concernant les niveaux adéquats d'éclairement lumineux.

Discussions internationales sur la publication n° 19/2 de la CIE

Au cours de la Conférence CIE 1975 à Londres, on a organisé une réunion conjointe du CT-3.1 "Performance visuelle" et du CT-4.1 de la CIE "Éclairage d'intérieur", afin d'examiner la possibilité de tirer de l'ébauche de la publication n° 19/2 de la CIE des valeurs de l'éclairement lumineux raisonnables, du point de vue de la productivité, que l'on pourrait alors appliquer à des tâches visuelles précises et réelles. On avait convenu à ce moment-là que l'on pourrait résoudre ce problème en définissant des "tâches normalisées" typique de diverses activités commerciales et industrielles, en déterminant les contrastes équivalents de ces tâches normalisées, puis en suivant la procédure précisée dans la publication n° 19/2. À cette fin, on a mis sur pied un groupe de travail comprenant des membres qui représentaient les États-Unis et l'Europe, et présidé par Bob Dorsey (É.-U.). On prévoyait à ce moment-là d'atteindre d'abord les résultats qu'obtiendrait un groupe américain qui allait entreprendre des travaux en ce sens, puis de rédiger des recommandations internationales.

However, during the years following the London CIE Conference, European experts came to the conclusion that not sufficient information could be expected in the near future for analytical predetermination of the relation between task performance and visibility level for different tasks. This relation must be determined imperically for each type of task. Moreover, for tasks which differ in relevant size of detail the Standard Relative Contrast Sensitivity Curve to be used for the determination of the Equivalent Reference Illuminance should be shifted horizontally. For this reason, at a meeting of CIE TC-3.1 together with representatives of TC-4.1 in Paris 1978, it was decided to change the title of Publication No. 19/2 from 'A unified framework for evaluating visual performance aspects of lighting' into 'An analytic model for describing the influence of lighting parameters upon visual performance'. Furthermore, as a consequence of the above considerations, the working group TC-3.1/4.1 has never started doing its actual work. They only met once during the CIE Conference in Kyoto, 1979, and decided there to include in the next issue of the CIE Interior Lighting Guide charts showing Relative Visual Performance for different task difficulties, performance demand levels and age groups.

Cependant, au cours des années écoulées depuis la conférence de Londres de la CIE, les spécialistes européens en sont arrivés à la conclusion qu'on ne pouvait pas espérer obtenir, dans le proche avenir, des informations suffisant à prédéterminer analytiquement la relation entre la performance d'une tâche et le niveau de visibilité, pour diverses tâches. Cette relation doit être déterminée empiriquement pour chaque type de tâche. Par ailleurs, pour des tâches qui diffèrent quant à la grandeur pertinente des détails, il faudrait déplacer horizontalement la courbe normalisée de la sensibilité différentielle relative, servant à déterminer l'éclairement équivalent de référence. Par conséquent, à une réunion du CT-3.1 de la CIE avec des représentants de CT-4.1, à Paris, en 1978, on a décidé de changer le titre de la publication n° 19/2 ("Cadre méthodologique uni pour l'évaluation des aspects de performance visuelle de l'éclairage") en "Modèle analytique permettant de décrire l'influence des paramètres d'éclairage sur la performance visuelle". De plus, suite aux considérations ci-dessus, le groupe de travail CT-3.1/4.2 n'a jamais vraiment commencé à faire son travail prévu. Il s'est réuni une seule fois au cours de la Conférence de la CIE de Kyoto, en 1979, et il a décidé, à ce moment-là, d'insérer dans la prochaine édition du Guide d'éclairage d'intérieur de la CIE, des graphiques indiquant la performance visuelle relative pour des tâches comportant divers degrés de difficulté, pour les niveaux de demande de performance et selon les groupes d'âge.

Draft ISO Standard 'Principles of Visual Ergonomics to the Lighting of Work Systems'

The Committee ISO/TC159/SC5/WG2 'Lighting' in which CIE TC-4.1 is represented by two delegates completed the final draft of a standard on 'Principles of Visual Ergonomics to be applied to the Lighting of Work Systems' in July 1981. This document includes, in an annex, a table of recommended illuminances which are characterized as 'an example of the sort of listing of illuminances that a country might develop for their specific application'. For each type of interior or activity a range of illuminances is given, consisting of three successive steps of the scale for illuminance recommendations as published by CIE. They represent illuminance levels as recommended within Europe in codes for interior lighting that were issued after the energy crisis of 1973. When discussing suitable lighting levels during the preparation of this standard it was felt that a practical basis for taking aspects of visual performance into account when developing illuminance recommendations does not yet exist.

Ébauche d'une norme ISO "Principes d'ergonomie visuelle concernant l'éclairage au travail"

Le comité ISO/CT159/CÉ5/WG2 "Éclairage", auprès duquel le CT-4.1 de la CIE est représenté par deux délégués, a achevé, en juillet 1981, la version définitive d'une norme sur les "Principes de l'ergonomie visuelle concernant l'éclairage au travail". Dans une annexe, ce document contient un tableau des éclairements lumineux recommandés, qu'on indique à titre "d'exemple du genre de liste d'éclairements que pourrait élaborer un pays, pour les applications qui lui sont propres". Pour chaque type d'intérieur ou d'activité, on précise une gamme d'éclairements comprenant trois étapes successives de l'échelle des recommandations d'éclairement publiée par la CIE. Ceci représente des niveaux d'éclairement recommandés, en Europe, dans les codes d'éclairage d'intérieur adoptés après la crise énergétique de 1973. Lorsqu'on a discuté des niveaux d'éclairage appropriés, pendant l'élaboration de cette norme, on a considéré qu'il existe pas encore une base pratique permettant de tenir compte des aspects de performance visuelle lorsqu'on veut élaborer des recommandations sur l'éclairement.

Strong and weak points of the CIE visibility concept as given in Publication No. 19/2

It is the general feeling of lighting experts in Europe that the 'analytic model for describing the influence of lighting parameters upon visual performance' represents a fundamental and systematic approach to considering the relationship between task, lighting, visibility and work performance, and can serve lighting engineers as a valuable background for their advisory activities.

Points forts et points faibles du concept de visibilité de la CIE précisés dans la publication nº 19/2

À l'avis général des spécialistes européens de l'éclairage, le "modèle analytique permettant de décrire l'influence des paramètres d'éclairage sur la performance visuelle" est une approche fondamentale et systématique qui permet d'évaluer la relation entre tâche, éclairage, visibilité et performance au travail, et qui serait d'une grande utilité pour les éclairagistes agissant en leur capacité de conseillers.

However, it is also generally felt that the model is not capable of giving exact and accurate answers on the question how lighting and particularly the illuminance level can affect performance on specific tasks. This is mainly due to the following reasons:

- It is hardly possible to define the threshold with the necessary precision. For instance the result of threshold measurements will be different for the criteria 'just detectable', 'just recognizable' and 'just readable'.

- For complicated tasks like electronic parts it is extremely difficult to define the critical detail, and thus to achieve consistent results of threshold measurements.

- Variations between people when determining the threshold visibility of complicated objects are much greater than when doing this for the standard 4 min arc disc.

- If the task is surrounded by a non-homogeneous luminance field, the determination of the adaptation luminance is rather arbitrary which makes the measurements very uncertain.

- It may be expected that for moving objects and different positions of the retinal image different threshold values will be found.

- In many cases the threshold contrast versus luminance curve of an individual visual task will not be equidistant, in vertical direction, to the analogous curve for the 4 min arc disc. The individual curve will be shifted from the Reference Curve in horizontal direction, depending on the actual combination of observer and task, and consequently the measured Equivalent Contrast will vary with luminance.

Toutefois, on s'accorde aussi d'affirmer que le modèle ne peut pas fournir des réponses exactes à la question de savoir comment l'éclairage, et particulièrement le niveau d'éclairement, peuvent affecter la performance de tâches précises. Cette incapacité du modèle est due aux raisons suivantes:

- Il n'est guère possible de définir le seuil avec la précision voulue. Par exemple, les résultats des mesures au seuil (liminal) seront différents pour les critères "tout juste détectable", "tout juste reconnaissable" et "tout juste lisible".

- Pour les tâches complexes telles la fabrication de pièces électroniques, il est extrêmement difficile de définir le détail critique, et donc d'obtenir des résultats cohérents à partir des mesures liminales.

- Les variations d'une personne à l'autre, lorsqu'on veut déterminer le seuil de visibilité pour les objets complexes, sont beaucoup plus fortes que lors des mesures standard du disque de 4 minutes d'arc.

- Si la tâche est entourée d'un champ de luminance non homogène, la détermination de la luminance d'adaptation est plutôt arbitraire, ce qui rend les mesures très incertaines.

- Il faudrait s'attendre à trouver des valeurs liminaires différentes pour les objets qui se déplacent ainsi que pour diverses positions de l'image rétinale.

- Dans de nombreux cas, le contraste liminal en fonction de la courbe de luminance d'une tâche visuelle particulière ne sera pas équidistant, dans le sens vertical, par rapport à la courbe analogue pour le disque de 4 minutes d'arc. Cette courbe particulière sera déplacée, dans le sens horizontal, par rapport à la courbe de référence, d'une distance qui est fonction tant de l'observateur que de la tâche; par conséquent, le contrate équivalent mesuré varie avec la luminance.

- Besides the measurement of the Equivalent Contrast an assumption about the Task Demand Level, characterizing the dynamic component of the task, has to be made. A suitable procedure for doing this has not yet been developed.

- Only in very few cases the workers' age will be known in advance. Moreover, there is some hesitation in Europe to relate the required illuminance to age because this could result in a discrimination of older workers. This attitude is supported by the common experience that older worker compensate reduced visibility by greater task performance skill.

However, the greatest uncertainty is given by the fact that it is almost impossible in commercial and industrial activities to predict the proportional contribution of nonvisual components to overall performance. The inclusion of noncritical visual and nonvisual components dilutes the effects of lighting on overall performance to an extent directly related to their proportional involvement. In most work situations there is a great deal of variety in activities. How can an office worker predict how much time he is going to spend for reading, writing, telephone calls, conferences or just for meditation.

Thus, there are several reasons to conclude that the model is not truly predictive and cannot precisely answer the question how lighting can affect overall performance on specific tasks.

- En plus de la mesure du contraste équivalent, il faut faire une supposition quant au niveau d'exigence de la tâche, pour caractériser la composante dynamique de cette tâche. Or, un procédé adéquat à cette fin n'a pas encore été mis au point.

- Ce n'est que dans très peu de cas que l'on pourra connaître à l'avance l'âge des travailleurs. De plus, on hésite quelque peu en Europe à relier l'éclairement nécessaire à l'âge du travailleur, car cela pourra entraîner une discrimination envers les travailleurs plus âgés. Effectivement, on a bien vu, en réalité, que le travailleur plus âgé compense la réduction de la visibilité par sa plus grande expérience dans le domaine du travail en question.

L'incertitude la plus importante provient cependant du fait qu'il est presque impossible, dans les activités commerciales et industrielles, de prévoir la contribution proportionnelle des éléments non visuels à la performance d'ensemble. Cette inclusion d'éléments non visuels ou visuels mais non critiques, dilue les effets de l'éclairage sur la performance d'ensemble, dans une mesure directement proportionnelle à la participation de ces éléments. Dans la plupart des situations de travail, les activités sont fort diverses. Comment pourrait-on demander qu'un employé de bureau prévoie le temps qu'il va passer à lire, écrire, parler au téléphone, en conférence ou à méditer?

Plusieurs raisons permettent donc de conclure que le modèle n'est pas vraiment prévisionnel, et qu'il ne peut pas répondre avec exactitude à la question de savoir comment l'éclairage affecte la performance d'ensemble de tâches spécifiques.

The Contrast Rendering Factor (CRF)

The approach favoured in Europe for the evaluation of veiling reflections is different from that proposed by CIE Publication No. 19/2 and adopted in North America. Whereas in the USA the Equivalent Sphere Illuminance (ESI) concept has been developed as a measure of lighting quality from the visual performance point of view, it was felt in Europe that the annoyance caused by veiling reflections is the most relevant aspect of this phenomenon. Investigations carried out in Europe (1977 and 1979) showed that the degree of visual satisfaction is directly related to the Contrast Rendering Factor. For this reason some European countries intend to introduce suitable quality classes for CRF in a similar way as has been done in the past for glare limitation and colour rendering. These recommendations for CRF will be based on the reflection standard as proposed by a Scandinavian group (1979) and manufactured by Brüel & Kjaer.

There has always been some reservation in European countries regarding the soundness of the ESI concept because of the uncertainties described above. ESI values determined in the conventional way may deviate greatly from the exact figures and cannot represent more than very rough 'figures of merit'. This realisation opens the way to a practicable simplification of the system, valid for lighting levels relevant to working interiors (20 to 200 cd/m^2, or roughly 100 to 1000 lux respectively), by approximating the RCS Reference Function by a straight line given by the equation (Fischer 1981)

$$ESI = E \times CRF^5.$$

Facteur de rendu du contraste (CRF)

L'approche préférée en Europe pour l'évaluation des réflexions de voile diffère de celle proposée par la publication 19/2 de la CIE et adoptée en Amérique du Nord. Aux États-Unis, le concept d'éclairement sphérique équivalent (Equivalent Sphere Illuminance = ESI) a été élaboré pour mesurer la qualité de l'éclairage du point de vue de la performance visuelle, tandis qu'en Europe on pense que l'aspect le plus pertinent de ce phénomène est la gêne causé par les réflexions de voile. Des enquêtes effectuées en Europe (1977 et 1979) ont montré que le degré de satisfaction visuelle est fonction directe du facteur de rendu du contraste (Contrast Rendering Factor = CRF). Certains pays européens veulent donc adopter des catégories de qualité appropriées pour le CRF, de manière semblable à ce qu'on a fait dans le passé pour la limitation de l'éblouissement perturbateur et le rendu des couleurs. Ces recommandations pour le CRF seront basées sur l'étalon du réflexion proposé par un groupe scandinave (1979) et fabriqué par Brüel & Kjaer.

À cause des incertitudes décrites plus haut, il y a toujours eu un certain doute, dans les pays d'Europe, en ce qui concerne la validité du concept ESI. Les valeurs ESI déterminées par la méthode classique peuvent s'écarter fortement par rapport aux chiffres exacts; ces valeurs ne peuvent donc indiquer rien de plus qu'un "ordre de grandeur" très approximatif. Une fois que l'on a réalisé ce fait, on peut apporter au système une simplification pratique, valable pour les niveaux d'éclairage des locaux de travail (20 à 200 cd/m^2, soit respectivement 100 à 1 000 lux environ), en approximant la fonction de référence RCS (sensibilité différentielle relative = Relative Contrast Sensitivity) par une ligne droite donnée par l'équation (Fischer 1981).

$$ESI = E \times CRF^5.$$

Using this formula it is possible to calculate values of ESI which correspond with recommended values of CRF. In case that calculated values of CRF are based on the reflection standard manufactured by Brüel & Kjaer (B&K), and that corresponding values of ESI should be related to the American Standard Pencil Task (PT) the following formula (Fischer 1981) must be applied in addition:

$$CRF_{PT} = 0.66\ CRF_{B\&K} + 0.26.$$

During a meeting of CIE Committee TC-4.1 'Interior Lighting' in May 1981 a first discussion took place on how to deal with this subject in a revised issue of Publication CIE No. 29 'Guide on Interior Lighting'. The following approach was in principle agreed upon:

- In normal cases the evaluation of contrast rendering in offices should be done by means of the Contrast Rendering Factor CRF. ESI (or the Lighting Effectiveness Factor LEF) should only be used in those cases where special information about the visual performance aspect of an installation is wanted.

- Recommendations for CRF should be based on the reflection standard manufactured by Brüel & Kjaer (B&K).

In a draft proposal for chapter 2 'Contrast rendering and perception of task contrast' of a revised Guide on Interior Lighting the recommendations for CRF and ESI as given in table 2 are included. The values of ESI have been calculated using the above mentioned formulae and are rounded off to achieve smooth values.

Cette formule permet de calculer les valeurs ESI correspondant aux valeurs CRF recommandées. Si les valeurs calculées du CRF sont basées sur l'étalon de réflexion fabrique par Brüel & Kjaer (B&K), et si les valeurs correspondantes de ESI doivent être rapportées à la tâche au crayon standard américaine (American Standard Pencil Task - PT), on doit de plus appliquer la formule suivante (Fischer 1981):

$$CRF_{PT} = 0{,}66\ CRF_{B\&K} + 0{,}26.$$

Lors d'une réunion du comité CT-4.1 de la CIE ("Éclairage d'intérieur"), en mai 1981, on a discuté de la manière dont ce sujet devrait être traité dans une édition révisée de la publication n° 29 de la CIE: "Guide sur l'éclairage d'intérieur". On s'est accordé en principe d'adopter l'approche suivante:

- Normalement, l'évaluation du rendu du contraste dans les bureaux devrait se faire au moyen du facteur de rendu du contraste, CRF. Le ESI (ou le facteur d'efficacité de l'éclairage, LEF = Lighting Effecitveness Factor) ne devrait être utilisé que dans les cas où on veut obtenir des informations spéciales sur l'aspect performance visuelle d'une installation.

- Les recommandations concernant le CRF devraient être basées sur l'étalon de réflexion fabriqué par Brüel & Kjaer (B&K).

Les recommandations pour le CRF et le ESI indiquées au tableau 2 ont été incluses dans l'ébauche proposée pour le chapitre 2: "Rendu du contraste et perception du contraste d'une tâche", d'un Guide révisé de l'éclairage d'intérieur. Les valeurs ESI ont été calculées au moyen des formules susmentionnées; ces valeurs ont été arrondies pour simplifier les choses.

Quality class/ Catégorie de qualité	$CRF_{B\&K}$	ESI_{PT}	Examples of application/ Exemples d'applications
I	1.0	0.75 x E	offices where predominantly glossy materials are used, e.g. composing rooms/ bureaux où l'on utilise surtout des matériaux brillants, par exemple les salles de composition
II	0.9	0.50 x E	glossy materials are used only occasionally, e.g. normal offices/ utilisation occasionnelle seulement de matériaux brillants, par exemple dans les bureaux normaux
III	0.75	0.25 x E	working materials are rather matt, e.g. schools and certain offices/ matériaux de travail plutôt mats, c.-à-d. dans les écoles et dans certains bureaux

Table 2: Quality classes for CRF and corresponding values of ESI.

Tableau 2: Catégories de qualité pour le CRF et valeurs ESI correspondantes.

The use of the model in lighting design

From the foregoing it has become clear that the model cannot give exact and accurate answers but that it can indicate the order of any effect and the important variables. This means that for the time being no realistic possibility can be seen for the evaluation of the visual performance potential of a lighting installation for specific tasks in absolute terms. However, different task conditions, lighting installations and lighting levels can be compared regarding their effect on visual performance in relative terms. In this case more or less arbitrary assumptions have to be made about the Equivalent Contrast and the Task Demand Level of the visual task, and the age of the observer.

Utilisation du modèle dans la conception de l'éclairage

On voit donc que le modèle ne peut pas fournir des réponses exactes, mais qu'il peut indiquer l'ordre de grandeur des effets ainsi que les variables importantes. Autrement dit, on n'entrevoit pas pour l'instant de possibilité réaliste pour l'évaluation, en termes absolus, de la performance visuelle qu'offre, pour des tâches précises, une installation d'éclairage donnée. Cependant, on peut comparer en termes relatifs les effets qu'ont sur la performance visuelle différentes conditions de travail, diverses installations d'éclairage et divers niveaux d'éclairement. Dans ce cas, on doit adopter des hypothèses plus ou moins arbitraires concernant le contraste équivalent et le niveau d'exigence de la tâche visuelle ainsi que l'âge de l'observateur.

Such comparisons are demonstrated by means of an example chosen in such a way that it describes a situation that may occur in normal offices with general lighting (see next 2 pages). Using tables A-2 to A-6 of Publication No. 19/2.2, values of Relative Visual Performance have been determined for different combinations of the variables introduced in Publication No. 19/2. However, visual performance is by no means identical with overall performance, and as the effect of nonvisual components to overall performance has not been taken into account no conclusions may be drawn from the results with respect to the overall performance that may be achievable in the different situations.

The enormous span of values of Relative Visual Performance occurring in the example reveals how great the mistakes can be if the relevant data of the visual task, the lighting and the observer are not correctly determined. This is, however, as has been outlined above, hardly possible under practical conditions.

On démontre ces comparaisons au moyen d'un exemple décrivant la situation qui peut se produire dans des bureaux normaux dotés d'un éclairage général (voir les 2 pages suivantes). À partir des tableaux A-2 à A-6 de la publication nº 19/2.2, on a déterminé des valeurs de performance visuelle relative pour diverses combinaisons des variables présentées par la publication nº 19/2. Toutefois, la performance visuelle n'est nullement identique à la performance d'ensemble; puisqu'on n'a pas tenu compte de l'effet des composantes non visuelles sur la performance d'ensemble, on ne peut donc tirer de ces résultats aucune conclusion quant à la performance d'ensemble qui serait possible dans diverses situations.

L'énorme gamme de valeurs de performance visuelle relative présentée dans cet exemple indique à quel point on peut se tromper si l'on détermine incorrectement les données pertinentes sur la tâche visuelle, l'éclairage et l'observateur. Pourtant, comme nous l'avons expliqué précédemment, leur détermination correcte n'est guère possible en réalité.

ANNEX

Example of the possible variations of Relative Visual Performance in offices if the variables of the visual object, the lighting installation and the observers are changed within the range that might occur in typical offices.

Starting point is a situation with the following data:

Equivalent Contrast (C)	0.7
Contrast Rendering Factor (CRF)	1.0
Task Demand Level (D)	60.0
Age (A)	45 years
Illuminance	500 lux.

The resulting Relative Visual Performance (RVP) is 0.80.

In the following, RVP is determined, using tables A-2 to A-6 of Publication No. 19/2.2, for varied values of one of the parameters respectively, the other parameters remaining constant.

a) Effect of Equivalent Contrast (C)

C	RVP
0.4	0.58
0.5	0.67
0.7	0.80
0.9	0.88

b) Effect of Contrast Rendering Factor (CRF)

CRF	RVP
0.75	0.69
0.90	0.76
1.00	0.80
1.10	0.84

ANNEXE

Exemple des variations possibles de la performance visuelle relative dans les bureaux, lorsqu'on change les variables de l'objet visuel, l'installation d'éclairage et les observateurs, dans la gamme recontrée dans les bureaux types.

Prenons comme point de départ une situation qui présente les données suivantes:

Contraste équivalent (C)	0,7
Facteur de rendu du contraste (CRF)	1,0
Niveau d'exigence de la tâche (D)	60,0
Âge (A)	45 ans
Éclairement	500 lux.

La performance visuelle relative (RVP = Relative Visual Performance) qui en résulte est de 0,80.

Ci-après, on détermine la RVP au moyen des tableaux A-2 à A-6 de la publication nº 19/2.2 pour diverses valeurs de l'un des paramètres, les autres paramètres restant constants.

a) Effet du contrast équivalent (C)

C	RVP
0,4	0,58
0,5	0,67
0,7	0,80
0,9	0,88

b) Effet du facteur de rendu du contraste (CRF)

CRF	RVP
0,75	0,69
0,90	0,76
1,00	0,80
1,10	0,84

c) Effect of Task Demand Level (D)

D	RVP
30.0	0.99
45.0	0.93
60.0	0.80
75.0	0.75

d) Effect of Age (A)

A	RVP
25	0.86
35	0.84
45	0.80
55	0.73
65	0.62

e) Effect of Illuminance (E)

E	RVP
300 lux	0.77
500 lux	0.80
700 lux	0.82
1000 lux	0.83

As may be seen, the influence of task parameters is much greater than the influence of the illuminance.

The most favourable combination of values used in this example leads to a Relative Visual Performance of 1.0, the most unfavourable combination to a value of 0.27.

This enormous difference in Relative Visual Performance is evidence of the determinative influence and importance of an appropriate choice of parameters.

c) Effet du niveau d'exigence de la tâche (D)

D	RVP
30,0	0,99
45,0	0,93
60,0	0,80
75,0	0,75

d) Effet de l'âge (A)

A	RVP
25	0,86
35	0,84
45	0,80
55	0,73
65	0,62

e) Effet de l'éclairement (E)

E	RVP
300 lux	0,77
500 lux	0,80
700 lux	0,82
1 000 lux	0,83

On constate que l'influence des paramètres de la tâche est beaucoup plus importante que l'influence de l'éclairement.

La combinaison la plus favorable de valeurs utilisées dans cet exemple donne une performance visuelle relative de 1,0, tandis que la combinaison la moins favorable donne une valeur de 0,27.

Cette énorme différence de performance visuelle relative ne fait que souligner l'importance primordiale d'un choix correct des paramètres.

SUITABLE QUALITY CLASSES FOR THE CONTRAST RENDERING FACTOR

Visual performance is essentially a function of the ability of the worker to discriminate between the luminance of the detail to be seen and the luminance of the background.

Visual comfort in working interiors is a function of the strain involved in performance of the visual task and of the stimulation and/or irritation produced by the luminous environment.

Veiling reflections may reduce task contrasts, and therefore task visibility, and cause discomfort.

Different concepts have been developed and proposed for the evaluation of visual performance and comfort in the presence of veiling reflections. The intention of this paper is to briefly review these concepts and to propose suitable quality classes for appropriate evaluation parameters to be included in a revised version of Publication CIE No. 29 (TC-4.1) 'Guide on Interior Lighting'.

Evaluation parameters and reflection standards

Up to now the following evaluation parameters and reflection standards have been proposed or introduced:

Contrast Rendering Factor (CRF)[1]

Contrast Reduction (R)[2]

Equivalent Sphere Illuminance based on contrast sensitivity (ESI)[1]

Equivalent Sphere Illuminance based on visual acuity (ESI(V))[3]

Lighting Effectiveness Factor based on contrast sensitivity (LEF)[1]

CATÉGORIES DE QUALITÉ APPROPRIÉES POUR LE FACTEUR DE RENDU DU CONTRASTE

La performance visuelle est essentiellement fonction de l'aptitude du travailleur à faire la distinction entre la luminance du détail qu'il doit voir et la luminance du fond.

Le confort visuel dans les locaux de travail est fonction de la sollicitation qu'exerce la performance de la tâche visuelle ainsi que de la stimulation et/ou de l'irritation que produit le milieu lumineux.

Les réflexions de voile peuvent réduire le contraste de la tâche et donc la visibilité de celle-ci, ce qui risque de géner le travailleur.

On a élaboré et proposé divers concepts pour l'évaluation de la performance visuelle et du confort en présence de réflexions de voile. Cet article a pour but de passer rapidement en revue ces concepts, pour proposer ensuite des catégories de qualité pour des paramètres d'évaluation appropriés, qui seraient inclus dans une version révisée de la publication n° 19 (CT-4.1) de la CIE: "Guide d'éclairage d'intérieur".

Paramètres d'évaluation et normes de réflexion

À ce jour, on a proposé ou adopté les paramètres d'évaluation et les normes de réflexion suivantes:

Facteur de rendu du contraste (CRF)[1]

Réduction du contraste (R)[2]

Éclairement sphérique équivalent basé sur la sensibilité différentielle (ESI)[1]

Éclairement sphérique équivalent basé sur l'acuité visuelle (ESI(V))[3]

Facteur d'efficacité de l'éclairage basé sur la sensibilité différentielle (LEF)[1]

Lighting Effectiveness Factor based on visual acuity (LEF(V))

Reference Pencil Task (PT)[4]

Reflection standard manufactured by Brüel & Kjaer (B&K)[5]

When CRF, ESI or LEF are related to one of the two reflection standards the subscript PT or B&K is added respectively.

Mathematical relations or approximations between evaluation parameters

Facteur d'efficacité de l'éclairage basé sur l'acuité visuelle (LEF(V))

Tâche au crayon de référence (PT)[4]

Étalon de réflexion fabriqué par Brüel & Kjaer (B&K)[5]

Lorsque le CRF, ESI ou LEF se rapporte à l'un des deux étalons de réflexion, on ajoute respectivement l'indice PT ou B&K.

Relations mathématiques ou approximations entre les paramètres d'évaluation

R versus CRF: $R = \frac{(98 - 91 \times CRF)\ 100}{98}\ \%$ (1)

LEF versus CRF[6,7] $LEF = CRF^5$ (2)

LEF versus ESI: $LEF = ESI/E$ (3)

LEF(V) versus CRF[3] $LEF(V) = CRF^{2.5}$ (4)

CRF_{PT} versus $CRF_{B\&K}$ (see figure 1)[6,7,8]

$$CRF_{PT} = 0.66\ CRF_{B\&K} + 0.26 \quad (5)$$

R en fonction du CRF: $R = \frac{(98 - 91 \times CRF)\ 100}{98}\ \%$ (1)

LEF en f. du CRF[6,7] $LEF = CRF^5$ (2)

LEF en f. du ESI: $LEF = ESI/E$ (3)

LEF(V) en f. du CRF[3] $LEF(V) = CRF^{2\,5}$ (4)

CRF_{PT} en f. du $CRF_{B\&K}$ (voir la figure 1)[6,7,8]

$$CRF_{PT} = 0{,}66\ CRF_{B\&K} + 0{,}26 \quad (5)$$

Existing recommendations for the evaluation of contrast rendering

In the USA the ESI concept has been introduced as a tool in determining the effectiveness of controlling veiling reflection and as a part of the evaluation of lighting systems[1]. It is recommended that the criterion ESI be no less than 50 per cent of the illuminance value of the installation for conditions where the task locations and orientations are unknown, and no less than 75 per cent for conditions where task locations are know[9].

A Scandinavian group proposes that in order to ensure good visual comfort the contrast reduction in the reflection standard ($R_{B\&K}$) within the defined working field should be not greater than 15 per cent for conditions where the materials are mostly rather glossy, and not greater than 30 per cent for conditions where the working materials are rather matt[2].

State of discussions in CIE TC-4.1

At the meeting of CIE TC-4.1 on May 4, 1981 in Granada the following approach for dealing with contrast rendering in a revised issue of Publication CIE No. 29 (TC-4.1) was in principle agreed upon:

a) In all normal cases the evaluation of contrast rendering should be done by means of the contrast rendering factor CRF. ESI and LEF should only be used in those cases where special information about the visual performance aspects of an installation is wanted.

b) Recommendations for CRF should be based on the reflection standard manufactured by Brüel & Kjaer (B&K).

c) The working field on an office desk and the eye position should be specified as proposed by the Scandinavian group.

Recommandations existantes pour l'évaluation du rendu du contraste

Aux États-Unis, on a adopté le concept ESI afin de déterminer l'efficacité des moyens permettant de réduire les réflexions de voile, ainsi que pour évaluer les systèmes d'éclairage[1]. On recommande que le critère ESI ne soit jamais inférieur à 50 pour cent de l'éclairement de l'installation dans les cas où l'endroit et l'orientation de la tâche sont inconnus, et jamais inférieur à 75 pour cent dans les cas où on connaît les endroits où doit être effectuée la tâche[9].

Un groupe scandinave a fait la proposition suivante: pour assurer le confort visuel, la réduction de contraste de l'étalon de réflexion ($R_{B\&K}$), à l'intérieur du champ de travail défini, ne devrait pas dépasser 15 pour cent dans les cas où les matériaux de travail sont généralement brillants, et 30 pour cent dans les cas où les matériaux de travail sont plutôt mats[2].

État des discussions du CT-4.1 de la CIE

Lors de la réunion du 4 mai 1981 du CT-4.1 de la CIE, à Grenade, il y a eu accord de principe sur l'approche suivante en ce qui concerne le rendu du contraste, dans une édition révisée de la publication nº 19 (CT-4.1) de la CIE:

a) Normalement, l'évaluation du rendu du contraste se ferait au moyen du facteur de rendu du contraste CRF. On n'utilisera le ESI et le LEF que dans les cas où l'on veut obtenir des informations spéciales sur l'aspect performance visuelle d'une installation.

b) Les recommandations concernant le CRF doivent être basées sur l'étalon de réflexion fabriqué par Brüel & Kjaer (B&K).

c) La zone du travail sur un bureau ainsi que la position de l'oeil devraient être spécifiées conformément à ce que propose le groupe scandinave.

Results of measurement and calculation of CRF in office rooms

Pusch[8] reports on the results of measuring CRF in existing offices. The minimum $CRF_{B\&K}$ values at the work places were between 0.84 and 0.97, and the maximum values between 1.02 and 1.05. Additional readings were made in a drawing office equipped with fluorescent lamp luminaires with mirror reflectors and transverse louvres, and that on points 0.40 m apart on a line across the room perpendicular to the luminaires. The CRF values measured in viewing direction parallel to the rows of luminaires were throughout higher than 1.02, and the values with viewing direction crosswise were between 0.73 and 1.01.

At the Danish Lighting Laboratory the contrast reduction $R_{B\&K}$ was calculated with computer aid at different work places oriented both lenghtwise and crosswise[10]. For conventional lighting installations the contrast reduction $R_{B\&K}$ at the worst places amounted to 25-30 per cent in most cases, which corresponds to $CRF_{B\&K}$ values between 0.75 and 0.81.

Thus, it turns out that the minimum values of $CRF_{B\&K}$ in conventional installations are scarcely below 0.75 and values of more than 1.0 are attainable without great effort.

Résultats des mesures et calculs du CRF dans les locaux de bureau

Pusch[8] a présenté les résultats des mesures du CRF dans des locaux existants. Les valeurs minimales du $CRF_{B\&K}$ sur les lieux de travail variaient de 0,84 à 0,97, tandis que les valeurs maximales variaient de 1,02 à 1,05. Des mesures supplémentaires ont été effectuées dans un bureau de dessin équipé de luminaires à lampes fluorescentes avec réflecteurs à miroir et paralumes transversaux, ces mesures étant effectuées à des points espacés de 0,40 m sur une ligne traversant la pièce perpendiculairement aux luminaires. Les valeurs du CRF mesurées dans la direction de vision parallèle aux rangées de luminaires ont partout été supérieures à 1,02, tandis que les valeurs dans le sens de la vision transversale variaient de 0,73 à 1,021.

Au laboratoire d'éclairage danois, on a calculé, par des moyens informatiques, la réduction du contraste $R_{B\&K}$ à divers endroits de travail orientés tant longitudinalement que tranversalement[10]. Pour les installations d'éclairage classiques, la réduction de contraste $R_{B\&K}$ aux pires endroits était de 25 à 30 pour cent dans la plupart des cas, ce qui correspond à des valeurs du $CRF_{B\&K}$ situées entre 0,75 et 0,81.

On constate ainsi que les valeurs minimales du $CRF_{B\&K}$ dans les installations classiques sont rarement en-dessous de 0,75, et que l'on peut réaliser sans beaucoup d'effort des valeurs supérieures à 1,0.

Subjective assessments of printed and written matter

In order to obtain an insight into the relation between the subjective evaluation of seeing conditions when viewing written and printed matter in the presence of veiling reflections on the one hand, and calculated $CRF_{B\&K}$ values on the other, assessments of the viewing comfort were made in the Netherlands[6] and Germany (not yet published). In the Netherlands four different samples were evaluated by 29 observers under 20 different lighting situations in an especially equipped test room. In Germany 12 observers assessed eight different samples under 6 different lighting installations in adjacent rooms.

About 70 per cent of the observers judged a situation as being better than 'fair' if for all samples with printed characters on matt paper $CRF_{B\&K}$ was at least 0.6, if for pencil writing on matt paper $CRF_{B\&K}$ was at least 0.73, and if for print on more or less glossy paper $CRF_{B\&K}$ was higher than values between 0.87 and 1.05, depending on the glossiness of the individual paper material.

Proposal for quality classes of contrast rendering

It seems to be reasonable that quality classes of contrast rendering to be included in the CIE Guide on Interior Lighting should fulfil the following conditions:

a) They should be in accordance with existing recommendations.

Évaluations subjectives de textes imprimés et manuscrits

Des évaluations (non encore publiées) du confort de lecture ont été effectuées aux Pays-Bas[6] et en Allemagne, afin de cerner la relation entre l'évaluation subjective des conditions de vue lorsqu'on lit un texte manuscrit ou imprimé en présence de réflexions de voile, d'une part, et les valeurs calculées du $CRF_{B\&K}$ d'autre part. Aux Pays-Bas, quatre échantillons différents ont été évalués par 29 observateurs dans vingt situations d'éclairage différentes dans une salle d'essai spécialement équipée. En Allemagne, 12 observateurs ont évalué huit échantillons différents sous six installations d'éclairage différentes dans des pièces adjacentes.

Quelque 70 pour cent des observateurs ont jugé qu'une situation était meilleure que "passable" si, pour tous les échantillons ayant des caractères imprimés sur papier mat, le $CRF_{B\&K}$ était d'au moins 0,6, si pour l'écriture au crayon sur papier mat le $CRF_{B\&K}$ était d'au moins 0,73, et si, pour les textes imprimés sur papier plus ou moins brillant, le $CRF_{B\&K}$ était supérieur à la gamme de valeurs de 0,87 à 1,05, selon le brillant de chaque type de papier précis.

Catégories de qualité proposées pour le rendu du contraste

Il semble raisonnable d'exiger que les catégories de qualité du rendu du contraste à inclure dans le Guide d'éclairage intérieur de la CIE soient conformes aux conditions suivantes:

a) Elles doivent être conformes aux recommandations existantes.

If the LEF_{PT} value of 50 per cent which is recommended in North America for situations with unknown work places is converted to $CRF_{B\&K}$ using equations (2) and (5), the result is a $CRF_{B\&K}$ value of about 0.9. The same approximate value of 0.9 is obtained when the Scandinavian proposal of 15 per cent contrast reduction $R_{B\&K}$ for conditions where working materials are rather glossy is converted into $CRF_{B\&K}$ using equation (1).

Analogous to the American recommendation of 75 per cent for LEF in situations where task locations are known leads to a $CRF_{B\&K}$ value of about 1, and the Scandinavian proposal of 30 per cent $R_{B\&K}$ for conditions where the working materials are rather matt to a $CRF_{B\&K}$ value of 0.75.

Thus, in order to be in accordance with existing recommendations, the values 0.75, 0.90 and 1.00 should be chosen for three recommended steps of $CRF_{B\&K}$.

b) The quality classes should coincide in a proper way with achieved and measured values of $CRF_{B\&K}$ in good conventional lighting installations.

The three steps of 0.75, 0.90 and 1.00 resulting from a) are in good accordance with the range of $CRF_{B\&K}$ values measured in existing offices. A value of 0.75 is present almost everywhere in these offices, and a value of 0.90 at many work places. Also a value of 1.0 is easily obtainable by suitable measures like proper choice of the lighting system as well as location and orientation of work stations.

Si l'on convertit en $CRF_{B\&K}$, au moyen des équations (2) et (5), la valeur de 50 pour cent du LEF_{PT} recommandée en Amérique du Nord pour les situations où les lieux de travail sont inconnus, il en résulte une valeur d'environ 0,9 pour le $CRF_{B\&K}$. On obtient la même value approximative de 0,9 lorsqu'on convertit en $CRF_{B\&K}$, au moyen de l'équation (1), la proposition scandinave de 15 pour cent de réduction du contraste $R_{B\&K}$ pour les cas où les matériaux de travail sont plutôt brillants.

De même, la recommandation américaine de 75 pour cent pour le LEF dans les cas où les endroits pour les tâches sont connus, donne une valeur d'environ 1 pour le $CRF_{B\&K}$, tandis que le $R_{B\&K}$ de 30 pour cent proposé par le groupe scandinave pour les situations où les matériaux de travail sont plutôt mates donne une valeur du $CRF_{B\&K}$ de 0,75.

Ainsi, afin de se conformer aux recommandations existantes, les valeurs de 0,75, 0,90 et 1,00 devraient être choisies pour les trois paliers recommandés du $CRF_{B\&K}$.

b) Les catégories de qualité doivent coïncider adéquatement avec les valeurs réalisées et mesurées du $CRF_{B\&K}$ dans les installations d'éclairage classique de bonne qualité.

Les trois niveaux de 0,75, 0,90 et 1,00 résultant du point a) coïncident bien avec la gamme de valeurs $CRF_{B\&K}$ mesurées dans les locaux de bureaux existants. On retrouve une valeur de 0,75 presque partout dans ces bureaux, et une valeur de 0,90 à de nombreux postes de travail. De plus, une valeur de 1,00 peut s'obtenir facilement grâce à des mesures appropriées telles un bon choix du système d'éclairage ou la location et l'orientation des postes de travail.

c) The quality classes should be chosen in accordance with the outcome of assessments with materials of different degrees of glossiness.

If we demand that the lowest class should be valid for all matt materials including pencil writing on matt paper we arrive at a value for $CRF_{B\&K}$ of 0.75. 0.90 seems to be a good compromise for such offices where as customary in most cases also journals and leaflets with more or less glossy paper are read. Only when $CRF_{B\&K}$ is greater than 1.0 most glossy papers are assessed to be viewed with satisfactory comfort and therefore this value seems to be reasonable for the highest class.

Summing up, the quality classes shown in table 1 result more or less inevitably from the above mentioned arguments.

c) Les catégories de qualité doivent être choisies en tenant compte du résultat des évaluations portant sur des matériaux qui présentent divers degrés de brillance.

Si nous exigeons que la catégorie inférieure soit valide pour tous les matériaux mats, y compris l'écriture au crayon sur du papier mat, nous en arrivons à une valeur de 0,75 pour le $CRF_{B\&K}$. La valeur de 0,90 semble représenter un compromis raisonnable pour les bureaux où, dans la plupart des cas, on lit également des journaux et des brochures sur du papier plus ou moins brillant. Ce n'est cependant qu'avec un $CRF_{B\&K}$ supérieur à 1,0 que l'on estime pouvoir lire de manière suffisamment confortable la pupart des papiers brillants; il semble donc raisonnable d'adopter cette valeur pour la catégorie supérieure.

En résumé les catégories de qualité présentées dans le tableau 1 résultent de façon plus ou moins inévitable des arguments sumentionnés.

Quality class/ Catégorie de qualité	$CRF_{B\&K}$	Application
I	1.00	offices where predominantly glossy materials are used, e.g. composing rooms/ bureaux où l'on utilise surtout des matériaux brillants, par exemple les salles de composition
II	0.90	glossy materials are used only occasionally, e.g. normal offices/ utilisation occasionnelle seulement de matériaux brillants, c.-à-d. bureaux normaux
III	0.75	working materials are rather matt, e.g. schools and certain offices/ matériaux de travail plutôt mats, par exemple dans les écoles et dans certains bureaux

Table 1: Proposal for quality classes for $CRF_{B\&K}$

Tableau 1: Catégories de qualité proposées pour le $CRF_{B\&K}$

The values of the evaluation parameters mentioned in the first section which correspond with the three quality classes for $CRF_{B\&K}$ given in table 1 are listed in table 2. All values are rounded off, but the exact values are added in parentheses.

Les valeurs des paramètres d'évaluation précisés à la première section, et qui correspondent aux trois catégories de qualité du $CRF_{B\&K}$ figurant au tableau 1, sont énumérées au tableau 2. Toutes les valeurs ont été arrondies, mais les valeurs exactes figurent entre parenthèses.

Quality class	$CRF_{B\&K}$	$R_{B\&K}$	CRF_{PT}	$LEF_{B\&K}$	LEF_{PT}	$LEF(V)_{B\&K}$	$LEF(V)_{PT}$
I	1.00	7% (exact value 7.1%)	0.95 (exact value 0.92)	1.00	0.75 (exact value 0.77)	1.00	0.90 (exact value 0.88)
II	0.90	15% (exact value 16.4%)	0.85 (exact value 0.85)	0.60 (exact value 0.59)	0.50 (exact value 0.44)	0.75 (exact value 0.77)	0.70 (exact value 0.67)
III	0.75	30% (exact value 30.4%)	0.75 (exact value 0.76)	0.25 (exact value 0.24)	0.25 (exact value 0.24)	0.50 (exact value 0.49)	0.50 (exact value 0.49)

Table 2: Values of different evaluation parameters which correspond with the three quality classes for $CRF_{B\&K}$ given in table 1.

Catégorie de qualité	$CRF_{B\&K}$	$R_{B\&K}$	CRF_{PT}	$LEF_{B\&K}$	LEF_{PT}	$LEF(V)_{B\&K}$	$LEF(V)_{PT}$
I	1,00	7% (valeur exacte 7,1%)	0,95 (valeur exacte 0,92)	1,00	0,75 (valeur exacte 0,77)	1,00	0,90 (valeur exacte 0,88)
II	0,90	15% (valeur exacte 16,4%)	0,85 (valeur exacte 0,85)	0,60 (valeur exacte 0,59)	0,50 (valeur exacte 0,44)	0,75 (valeur exacte 0,77)	0,70 (valeur exacte 0,67)
III	0,75	30% (valeur exacte 30,4%)	0,75 (valeur exacte 0,76)	0,25 (valeur exacte 0,24)	0,25 (valeur exacte 0,24)	0,50 (valeur exacte 0,49)	0,50 (valeur exacte 0,49)

Tableau 2: Valeurs de divers paramètres d'évaluation correspondant aux trois catégories de qualité du $CRF_{B\&K}$ données au tableau 1.

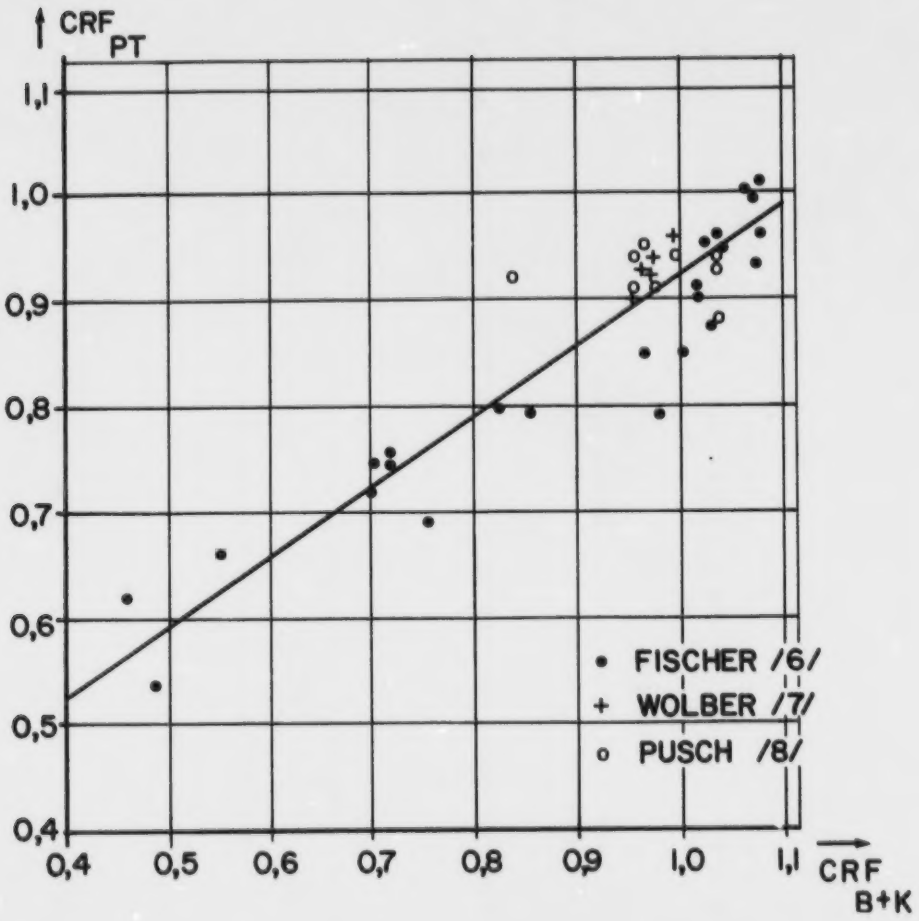


Figure 1: Relation between the Contrast Rendering Factor of the Reference Pencil Task (CRF_{PT}) and the Contrast Rendering Factor of the reflection standard manufactured by Brüel & Kjaer ($CRF_{B\&K}$).

The line follows the equations:

$$CRF_{PT} = 0.66\ CRF_{B\&K} = 0.26$$

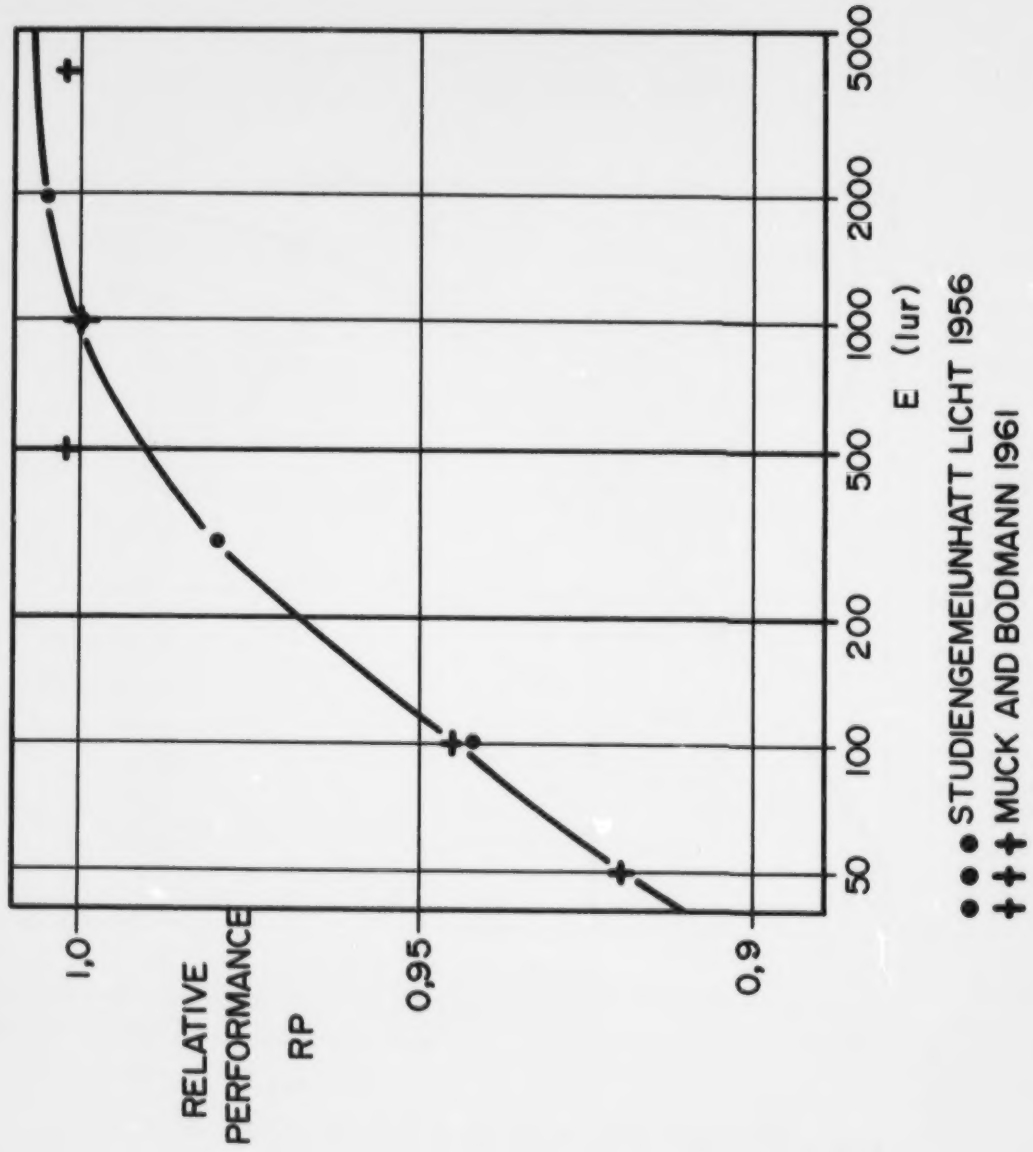
Figure 1: Relation entre le facteur de rendu du contraste de la tâche-crayon de référence (CRF_{PT}) et le facteur de rendu du contraste de l'étalon de réflexion fabriqué par Brüel & Kjaer ($CRF_{B\&K}$).

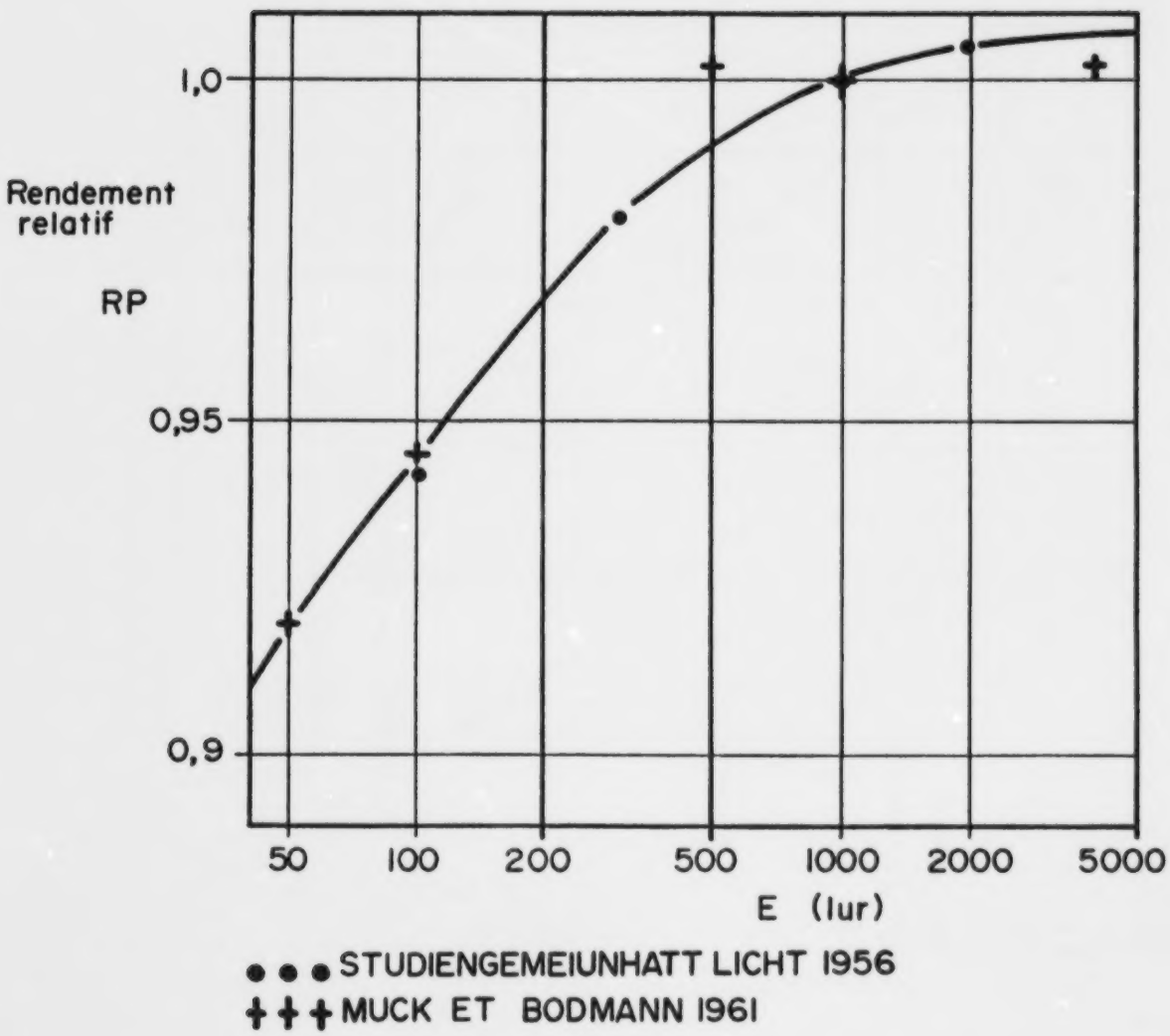
La ligne correspond à l'équation:

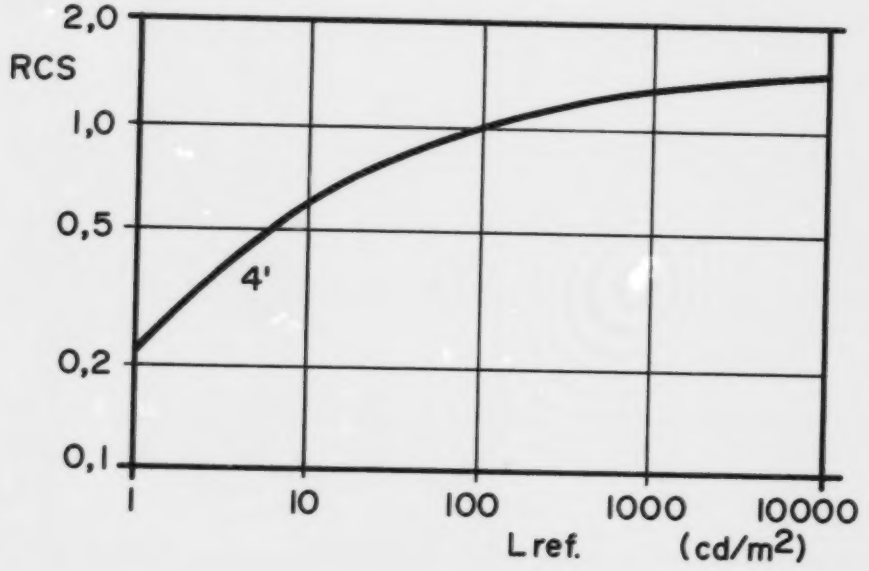
$$CRF_{PT} = 0{,}66\ CRF_{B\&K} = 0{,}26$$

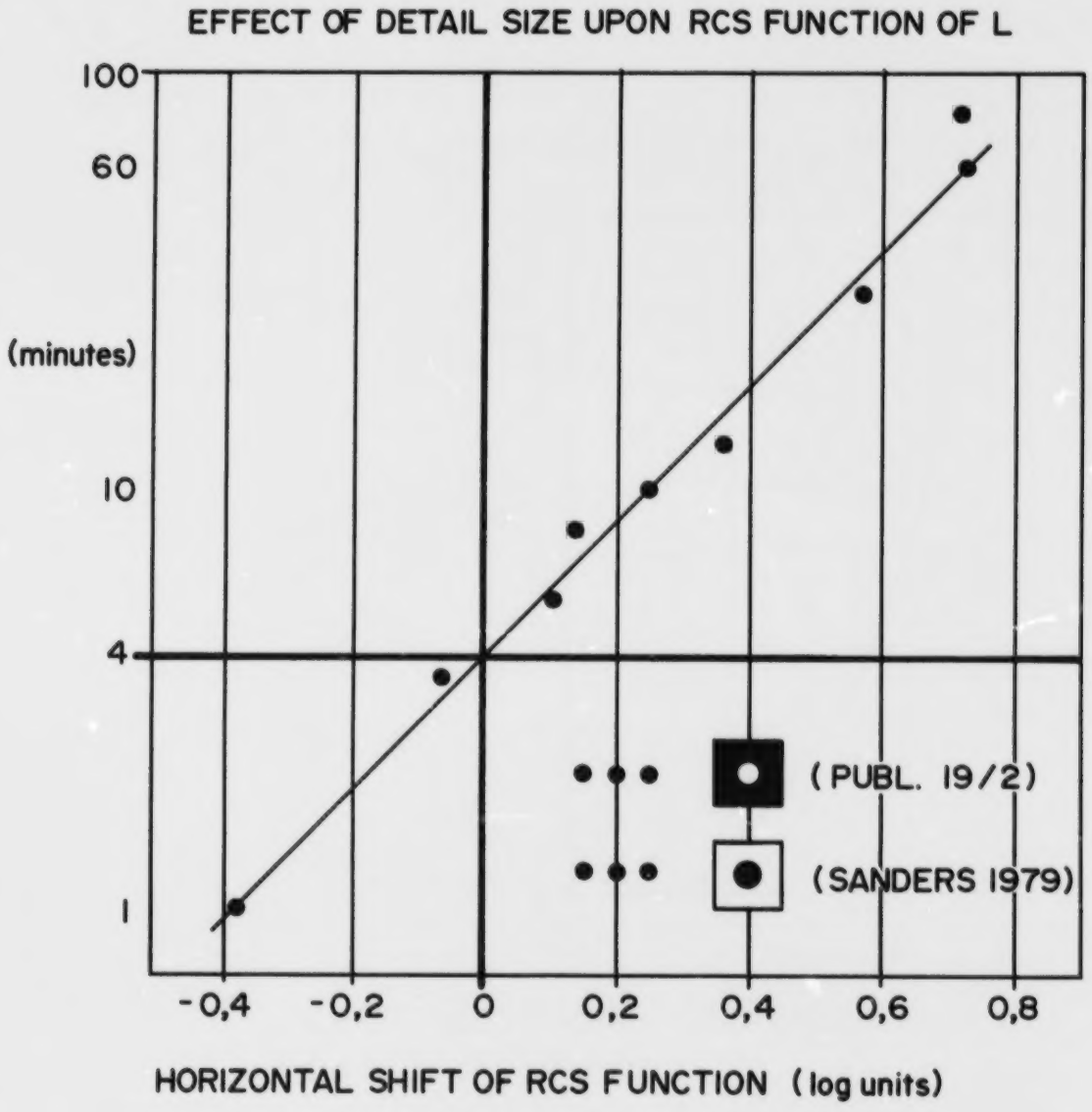
Note: The following figures were used by Dr. Fischer during his presentation.

Note: Le Dr Fischer a utilisé les figures qui suivent au cours de son exposé.

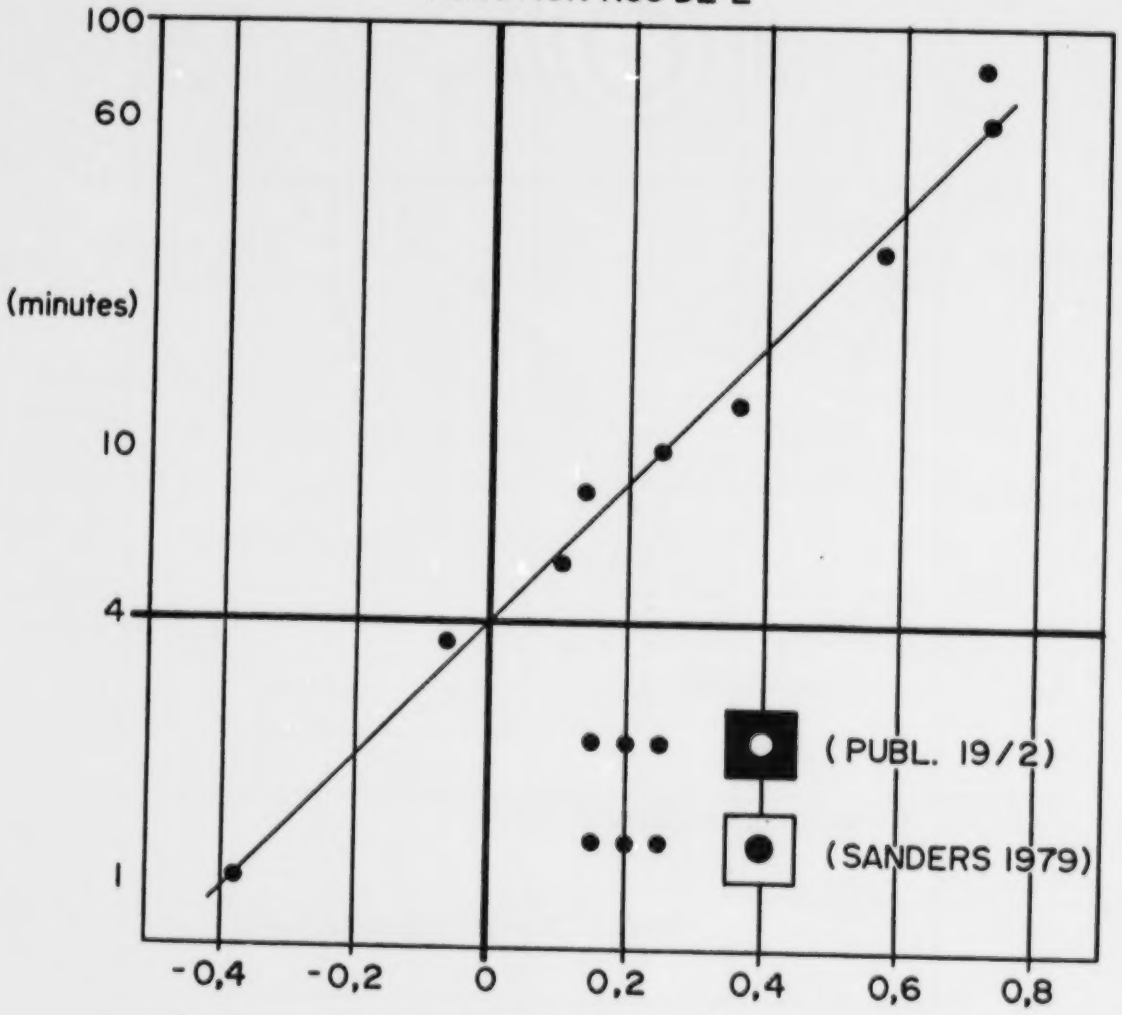



1,0
0,95
0,9
Rendement relatif
RP
50
100
200
500
1000
2000
5000
E (lur)
● ● ● STUDIENGEMEIUNHATT LICHT 1956
+ + + MUCK ET BODMANN 1961

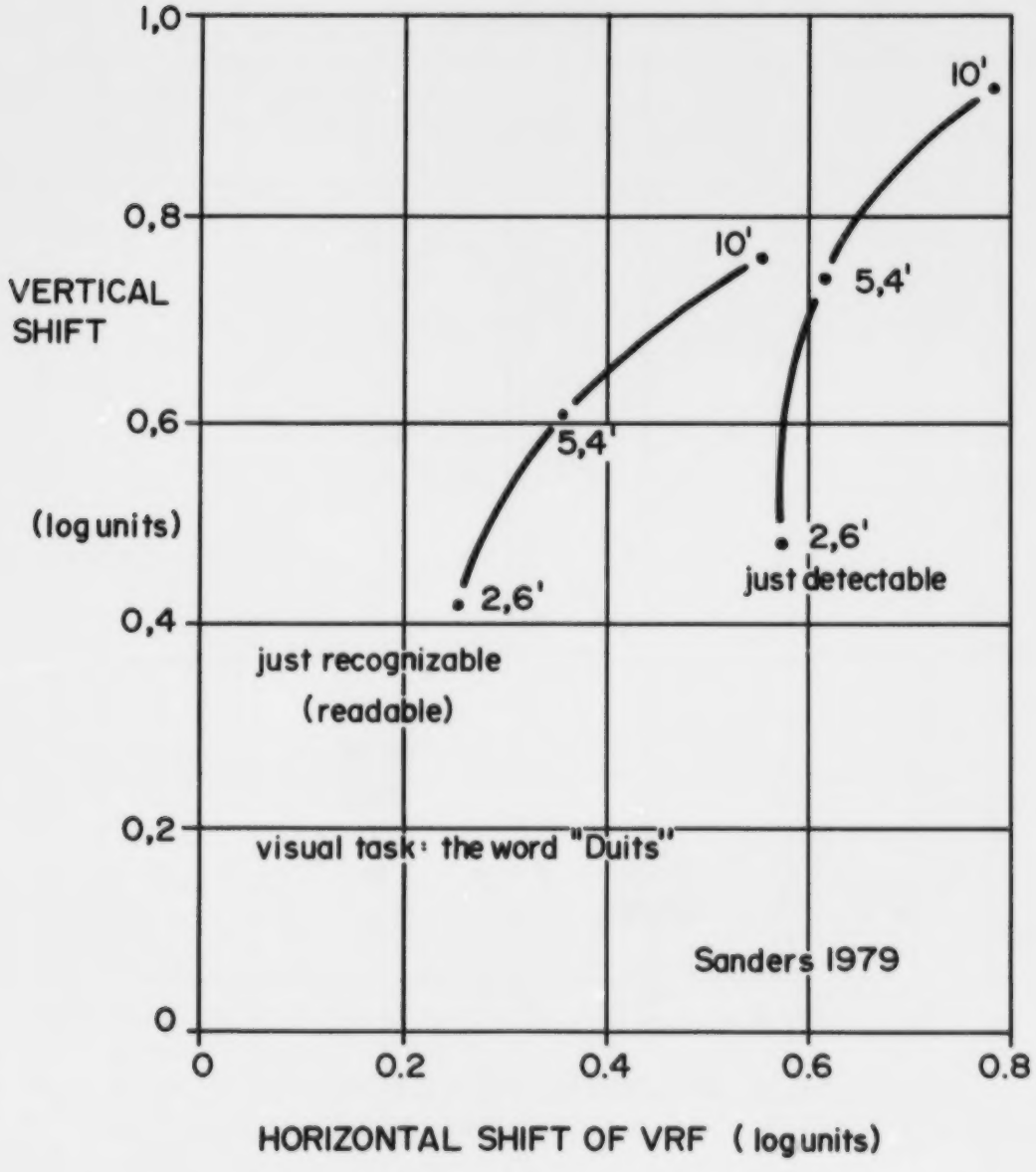

2,0
RCS
1,0
0,5
0,2
0,1
4'
1
10
100
1000
10000
L ref.
(cd/m2)

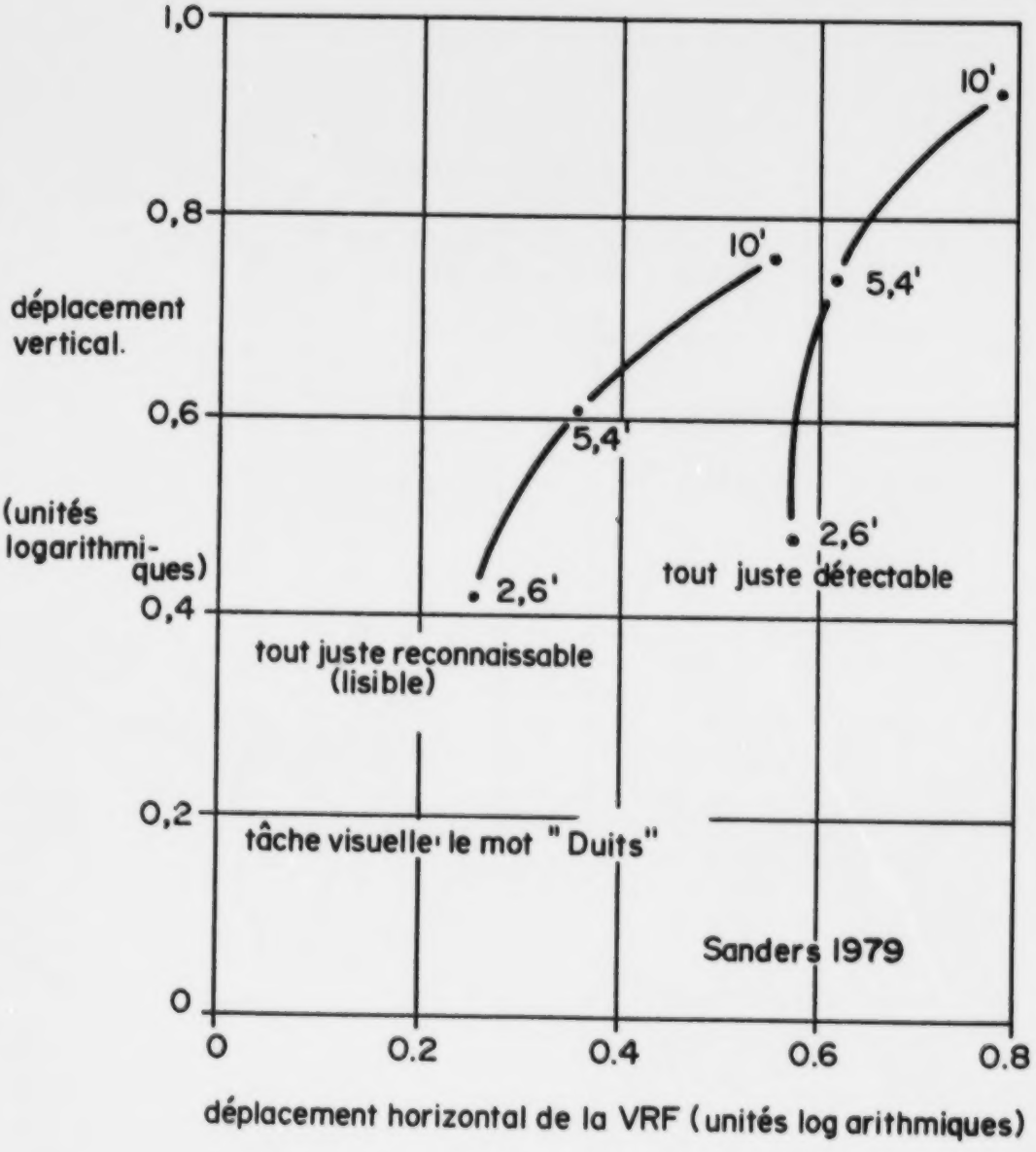

EFFECT OF DETAIL SIZE UPON RCS FUNCTION OF L
100
60
(minutes)
10
4
1
-0,4
-0,2
0
0,2
0,4
0,6
0,8
(PUBL. 19/2)
(SANDERS 1979)
HORIZONTAL SHIFT OF RCS FUNCTION (log units)

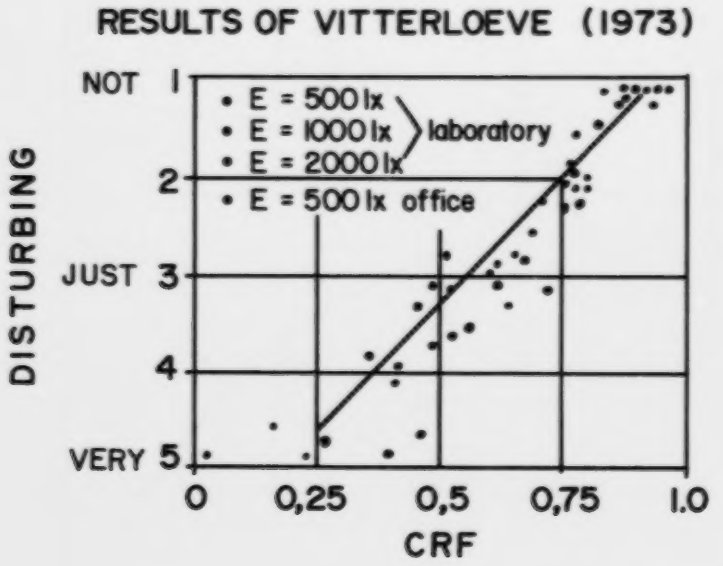
EFFET DE LA GRANDEUR DES DÉTAILS SUR LA FONCTION RCS DE L



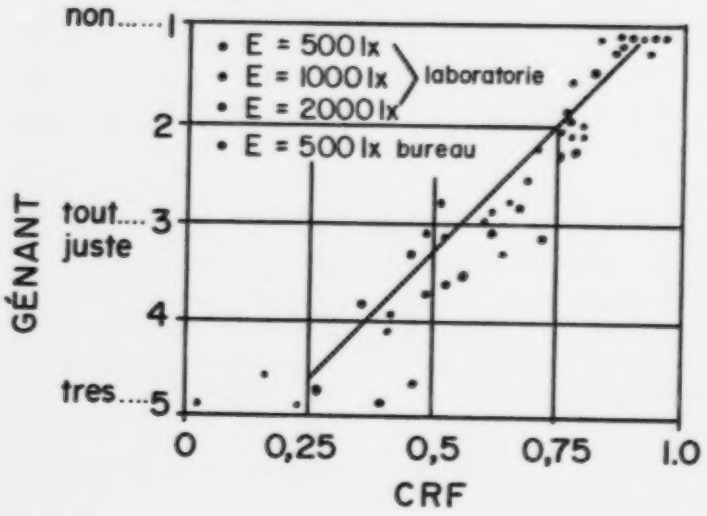
DÉPLACEMENT HORIZONTAL DE LA FONCTION RCS
(unités log arithmiques)

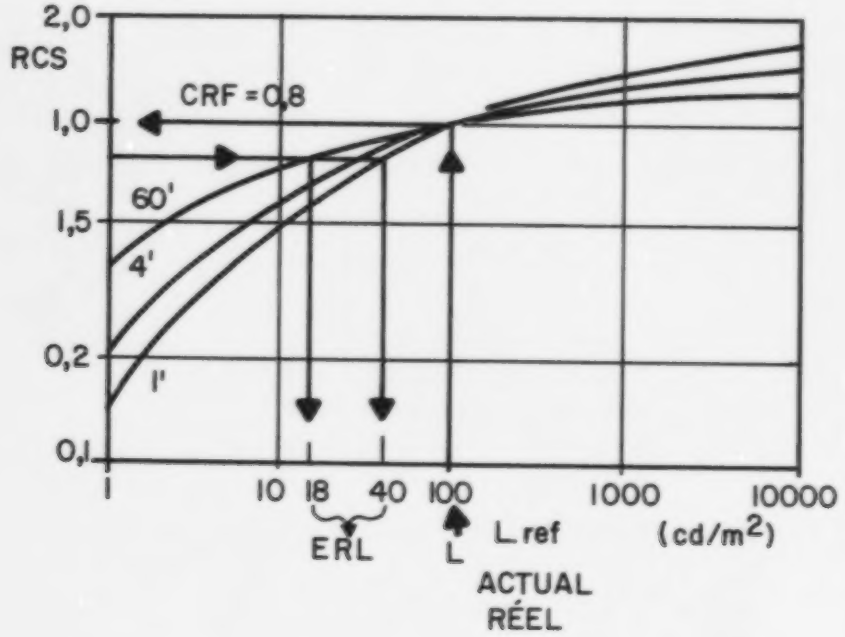

1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
VERTICAL SHIFT
(log units)
10'
10'
5,4'
5,4'
2,6'
2,6'
just detectable
just recognizable
(readable)
visual task: the word "Duits"
Sanders 1979
0
0.2
0.4
0.6
0.8
HORIZONTAL SHIFT OF VRF (log units)


1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
déplacement vertical.
(unités logarithmiques)
10'
10'
5,4'
5,4'
2,6'
2,6'
tout juste détectable
tout juste reconnaissable (lisible)
tâche visuelle : le mot " Duits"
Sanders 1979
0
0.2
0.4
0.6
0.8
déplacement horizontal de la VRF (unités log arithmiques)


RESULTS OF VITTERLOEVE (1973)
DISTURBING
NOT 1
2
JUST 3
4
VERY 5
• E = 500 lx
• E = 1000 lx
• E = 2000 lx
laboratory
• E = 500 lx office
0
0,25
0,5
0,75
1.0
CRF

RÉSULTATS DE VITTERHOEVE (1973)




2,0
RCS
1,0
1,5
0,2
0,1
CRF = 0,8
60'
4'
1'
1
10
18
40
100
1000
10000
ERL
L
L ref
(cd/m2)
ACTUAL
RÉEL

FORMULAE RELATING ESI_{PT} TO $CRF_{B\&K}$

FORMULES RELIANT LE ESI_{PT} AU $CRF_{B\&K}$

$$\log RCS = 0.2 \log L - 0.4$$

$$RCS_e = RCS \cdot CRF$$

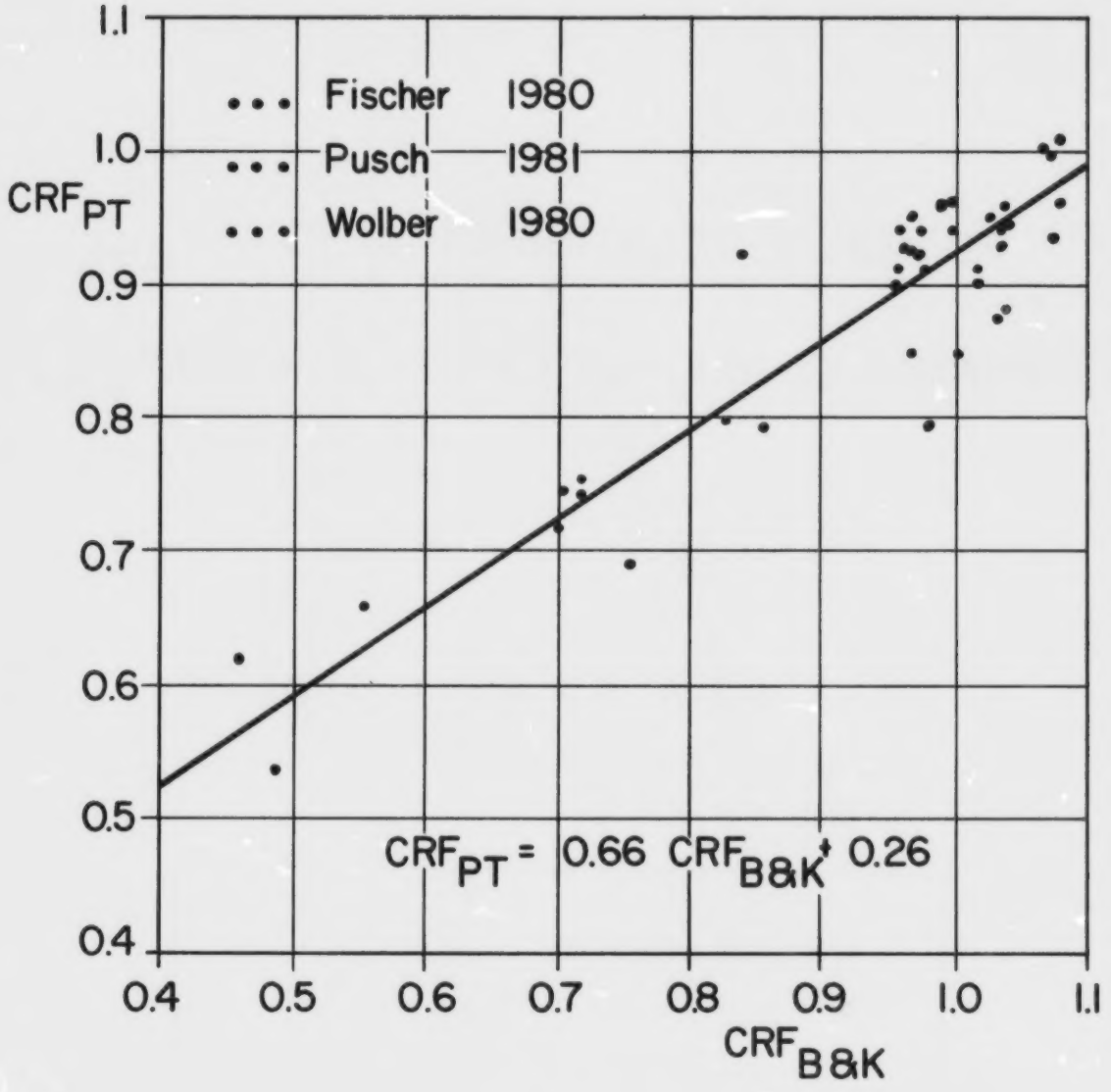
$$0.2 \log L_e - 0.4 = 0.2 \log L - 0.4 + \log CRF$$

$$\log L_e = \log L + 5 \log CRF$$

$$ERL = L \cdot CRF^5$$

$$ESI = E \cdot CRF^5$$

$$CRF_{PT} = 0.66 \cdot CRF_{B\&K} + 0,26$$


1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
CRF_{PT}
Fischer 1980
Pusch 1981
Wolber 1980
$CRF_{PT} = 0.66\ CRF_{B\&K} + 0.26$
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
1.1
$CRF_{B\&K}$

PROPOSAL for CIE GUIDE on INTERIOR LIGHTING

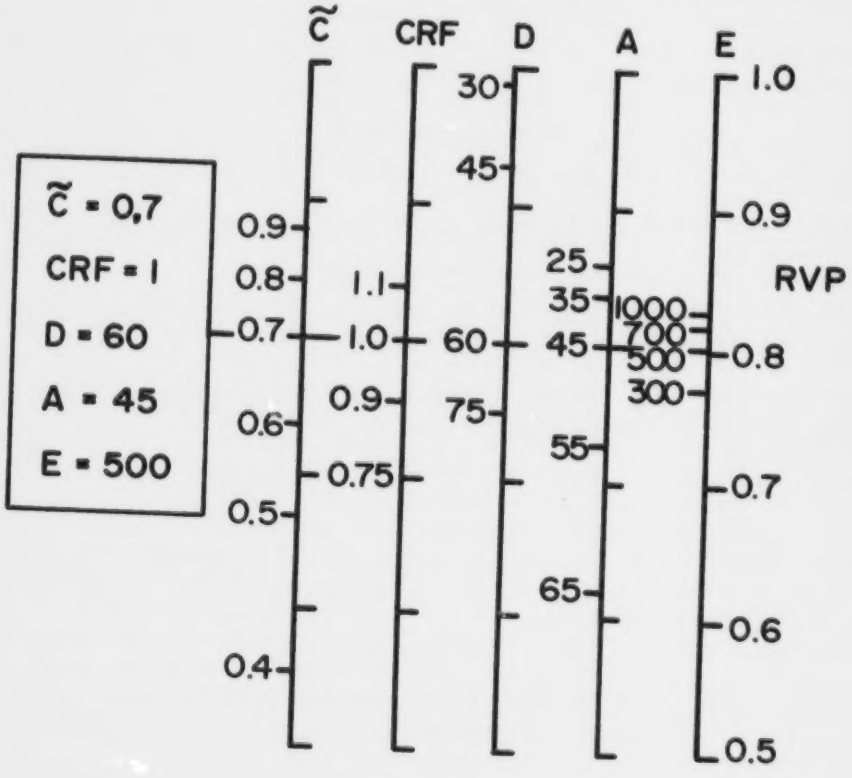
Quality Class	CRF_{B+K}	ESI_{PT}	EXAMPLES OF APPLICATION
I	≥ 1.0	≥0.75·E	offices where predominartly glossy materials are used, e.g. composing rooms
II	≥0.9	≥0.50·E	glossy materials are used only occasionally, e.g. normal offices
III	≥0.75	≥0.25 E	working materials are rather matt, e.g. schools and certain offices

Proposition pour le Guide CIE d'éclairage d'intérieur

Catégorie de qualité	CRF B&K	ESI PT	Exemples d'applications
I	≥ 1,0	≥ 0,75.E	Bureaux où l'on utilise surtout des matériaux brillants, par exemple les salles de composition
II	≥ 0,9	≥ 0,50.E	Utilisation occassionnelle seulement de matériaux brillants, c.-à-d. bureaux normaux
III	≥ 0,75	≥ 0,25.E	Matériaux de travail plutôt mats, par exemple dans les écoles et dans certains bureaux

EFFECT OF VISIBILITY PARAMETERS ON RVP

EFFET DES PARAMÈTRES DE VISIBILITÉ SUR RVP



References/Références

/1/ IES Lighting Handbook 1981, Application Volume, New York 1981.

/2/ H.H. Bjrset and E. Fredericksen, A proposal for recommendations for the limitation of the contrast reduction in office lighting, Proceedings 19th Session CIE, Kyoto 1979, p. 310.

/3/ T. Kaneko, An alternative ESI System based on the human visual acuity, Paper presented at the Annual IES Technical Conference, Toronto, August 1981.

/4/ RQQ Report No. 5, The predetermination of contrast rendition factors for the calculation of Equivalent Sphere Illumination, J.Illum.Eng.Soc. Vol. 2, January 1973, p. 149.

/5/ L. Yde and O. Nielsen, Reflection standard, make and characteristics, Proceedings 19th Session CIE, Kyoto 1979, p. 314.

/6/ D. Fischer, A practicable concept for the evaluation of veiling reflections, Paper presented at the IV LUX EUROPA, Granada, May 1981.

/7/ H. Wolber, Praktische Ergebnisse von Berechnungen der Kontrastminderung nach dem ESI-Verfahren, Tagungsband 1, Lict '80, Berlin 1980, p. 221.

/8/ R. Pusch, Praktischer Nachweis der Knontrastwiedergabe am Büroarbeisplatz, Licht 33 (1981) no. 4, p. 242.

/9/ J.E. Flynn, The IES approach to recommendations regarding levels of illumination, Lighting Design and Application, September 1979, p. 74.

/10/ H.J. Rindorf and R.D. Petersen, Kontrastminderung, Begriff und Messung, Tagungsband 1, Licht '80, Berlin 1980, p. 140.

Howard Brandston
Howard Brandston Lighting Design Inc.
141 West 24th Street
New York, N.Y. 10011

ABOUT THE AUTHOR

Howard Brandston studied theatrical illumination at Brooklyn College. He has had more than twenty-five years experience in lighting design, engineering, and electronics, designing illumination for more than 500 commercial, institutional, residential, and governmental projects. His light sculptures are permanently installed in museums and university collections. He has addressed forums of the American Institute of Architects, the Illuminating Engineering Society, the Institute of Electrical and Electronic Engineers, the Producers Council, and the United States Institute of Theatre Technology. He has been a guest lecturer or visiting professor at Ohio University, City College of New York, Cooper Union, Temple University, Hofstra University, and other institutions. Several of his articles have been published in the Sight Saving Review, in Progressive Architecture, as well as in Lighting Design and Application of which he was a contributing editor. He is a member of the Junior Council of the Museum of Modern Art. Prior to founding his own firm in 1966, he was a designer at several manufacturing and lighting design firms including Century Lighting, Inc., where he was assistant to Stanley McCandless, one of the pioneer figures in lighting design.

Howard Brandston
Howard Brandston Lighting Design Inc.
141 West 24th Street
New York, N.Y. 10011

L'AUTEUR

Howard Brandston a étudié l'éclairage de scène du Brooklyn College. Il compte plus de 25 années d'expérience en conception d'éclairage, en éclairagisme et en électronique. Il a conçu les éclairages de plus de 500 immeubles commerciaux, institutionnels, résidentiels et gouvernementaux. Ses sculptures lumineuses sont exposées en permanence dans des musées et dans des universités. M. Brandston a été invité à titre de conférencier par l'American Institute of Architects, par l'Illuminating Engineering Society, par l'Institute of Electrical and Electronic Engineers, par le Producers Council ainsi que par le United States Institute of Theatre Technology. Il a aussi été chargé de cours invité ou professeur invité à l'Ohio University, au City College of New York, au Cooper Union, à la Temple University, à la Hofstra University ainsi qu'à de nombreux autres établissements d'enseignement. Ses articles ont été publiées dans la Sight Saving Review, dans le Progressive Architecture et dans la revue Lighting Design and Application, à laquelle il a participé à titre de rédacteur. M. Brandston est membre du Junior Council of the Museum of Modern Art. Avant de fonder sa propre société en 1966, il a été éclairagiste concepteur pour plusieurs maisons de conception et de fabrication, notamment chez la Century Lighting, Inc., où il a été l'assistant de Stanley McCandless, un des pionniers de la conception d'éclairage.

LIGHTING DESIGN - A PRACTITIONERS PROBLEM

A system for achieving any objective should be tailored to the realities of the problem. An olympic rifleman's objective is to place all the bullets through one hole without regard for the distance. Realistically, this caliber of competitor and equipment can obtain sub minute of angle accuracy, or simply described, place 10 bullets in 1/2 of a standard postage stamp at 100 yards. The successful big-game hunter has no need for this precision for 100 per cent effectiveness.

We gather here now to discuss "The Integration of Visual Performance Criteria into the Illumination Design Process". This sounds to me as though we might be trying to inflict on the hunter all the olympians criteria. All that is needed is a readily understandable metric to evaluate the potential TASK - not Visual performance of any proposed lighting system. Remember, the people doing the design are practitioners, not scientists. I will propose for the sake of discussion a concept for such a system later in this paper.

The single most significant problem for the most part in the design of any illumination system today is an understanding of what good lighting is. The following is a list of criteria for good lighting design.

A good lighting design is realized if:

- all spaces (entry, transition, linger, work, exit etc.) are properly composed in a clear hierarchy of importance and purpose;
- the lighting provides spatial clarity;
- the lighting mood is consistent with each function and the space design;

LA CONCEPTION DE L'ÉCLAIRAGE - UN PROBLÈME PRATIQUE

Tout système visant à atteindre un certain but doit être dimensionné conformément aux problèmes qu'il doit surmonter. Le but d'un tireur olympique est de placer tous ses coups dans un même trou, sans égard à la distance. Cet expert du tir, avec son équipement spécialisé, peut atteindre une précision équivalent à moins d'une minute d'arc; autrement dit, il peut placer 10 balles dans la moitié d'un timbre poste à 100 verges. Le chasseur de gros gibier, lui, n'a guère besoin de cette précision pour abattre sa proie à coûp sûr.

Nous nous sommes réunis ici pour discuter de "L'intégration de critères de performance visuelle au processus de conception d'éclairage". J'ai l'impression, à prime abord, que nous voulons en quelque sorte imposer au chasseur tous les critères du tireur olympique, tandis qu'en fait tout ce qu'il faut c'est un étalon facilement compréhensible qui permette d'évaluer la TÂCHE éventuelle et non pas la performance visuelle d'un quelconque système d'éclairage. Rappelons que les gens qui s'occupent de la conception sont des praticiens du métier et non pas des hommes de science. Dans cet article, je vous proposerai, aux fins de discussion, un concept pour un tel système.

Le principal problème dans la conception de n'importe quel système d'éclairage aujourd'hui, c'est de savoir ce qu'est un bon éclairage. Voici donc une liste de critères pour une bonne conception de l'éclairage.

On peut réaliser une bonne conception de l'éclairage lorsque:

- tous les espaces (entrée, passage, travail, sortie, etc.) s'inscrivent correctement dans une hiérarchie clairement définie de leurs importance et but;
- l'éclairage assure la clarté spatiale;
- le ton de l'éclairage est conforme à chaque fonction et à la conception de l'espace;

- it provides for good potential productivity;
- it is within the client's budget;
- it has fully utilized the potential of daylight if it is available;
- it is readily maintainable;
- it is energy effective;
- all state of the art alternatives have been considered.

Simply put, the lighting should be of benefit to the project; a part of the design for people and spaces. If the above list is an adequate descriptor we must conclude that even though numbers can theoretically describe the complexity of the human visual system it cannot cope with personal perception. When trying to find a visual solution to a lighting problem that is deeply satisfying in human terms, "numbers" methodology is suspect. Therefore we use the following process:

Advance Plan Analysis

1. Obtain and analyze client's program.
2. Have clients select four projects that they feel demonstrate good practice relative to their problem.
3. Designers select four projects that they feel demonstrate good practice.
4. Visit the eight sites selected to build a vocabulary for describing lighting with likes, dislikes. Photograph locations for easy reference.

- l'éclairage permet d'atteindre une bonne productivité;
- l'éclairage correspond au budget du client;
- l'éclairage utilise à fond toute la lumière du jour disponible;
- l'entretien du système d'éclairage est facile;
- l'éclairage est efficace du point de vue énergétique;
- cet éclairage a été adopté après voir examiné toutes les autres possibilités que permettraient les règles de l'art.

En simplifiant les choses, on peut dire que l'éclairage doit être bénéfique pour le projet, et contribuer à une conception taillée à la mesure de l'homme et de l'espace. La liste ci-dessus ne fournit peut-être pas une description adéquate, et ce parce que, même si les chiffres peuvent en théorie décrire la complexité du système visuel de l'homme, ils ne peuvent pas rendre compte de la perception individuelle. La méthodologie des "chiffres" est donc douteuse lorsqu'il s'agit de résoudre un problème d'éclairage en lui apportant une solution visuelle profondément satisfaisante en termes humains. Nous utilisons donc le processus suivant:

Analyse préliminaire du plan

1. Obtenez et analyser le programme du client.
2. Demandez aux clients de choisir quatre projets qui, à leur avis, représenteraient une bonne solution de leur problème.
3. Les concepteurs choisissent quatre projets qui, à leur avis, représenteraient une bonne solution.
4. Visitez les huit endroits choisis afin d'établir le vocabulaire nécessaire pour décrire l'éclairage en termes des préférences ainsi que des aspects à éviter. Pour faciliter la référence ultérieure, prenez des photos des divers endroits.

5. Do a subjective and objective analysis at each location.

6. Subjective analysis with staff at their task locations.
   Do you like you work space and why?
   Is the lighting appropriate for space function and why?
   It is comfortable to work here and why?
   What would you change if you could and why?

7. Objective Analysis.
   From selected project spaces measure:
   Luminance general surround
   Luminance local surround
   Luminance task background
   Luminance task - (Standard Target)
   Luminance transition and linger areas

8. Begin selecting specifics from sites visited that relate appropriately to the client's needs and eliminate others.

9. Do a subjective and objective analysis of client's existing offices.

10. Rewrite program based on observations and the measurements.

These visits and subsequent analysis are the most important parts of any project. It is the education of the client, and the opportunity to heighten his awareness of lighting's role in the project he is about to build. It is the best method we have currently found to establish a rational set of program goals. This process, as outlined above, should begin prior to the schematic design phase. As schematic design commences, a lighting composition of all spaces should begin in concept. As schematic design nears completion this concept should be well developed.

5. Faites une analyse subjective et objective à chaque endroit.

6. Faites une analyse subjective avec le personnel sur les lieux où ils doivent exécuter leur tâche.
   Aimez-vous votre espace de travail et pourquoi?
   L'éclairage est-il approprié pour la fonction de l'espace et pourquoi?
   Est-il confortable de travailler ici et pourquoi?
   Si vous en aviez la possibilité, qu'est-ce que vous changeriez, et pourquoi?

7. Analyse objective.
   Mesurez, à partir des espaces de projet choisis:
   La luminance général du milieu
   La luminance local du milieu
   La luminance de fond de la tâche
   La luminance de la tâche - (but standard)
   La luminance des zones de transit et de loisir

8. Commencez à choisir des détails spécifiques à partir des emplacements visités, détails qui correspondent aux besoins du client, et éliminez d'autres détails.

9. Faites une analyse subjective et objective des bureaux actuels du client.

10. Révisez le programme compte tenu des observations et des mesures.

Ces visites et l'analyse subséquente sont les parties les plus importantes de n'importe quel projet. Elles éduquent le client en le sensibilisant au rôle que jour l'éclairage dans le projet qu'il veut entreprendre. C'est aussi la meilleure méthode que nous ayons trouvée pour établir un ensemble rationnel de buts pour un programme. Ce processus devrait commencer avant l'étape de la conception schématique. Au début de la conception schématique, on devrait commencer à travailler sur le concept de la composition d'éclairage de tous les espaces. Lorsque la conception schématique est presque achevée, ce concept doit se trouver à un stade d'élaboration assez avancé.

When this visual hierarchy, or **itinerary** through the project is set, and each space is lighted in a manner which will result in the way you want it to look; then a complete quantification should occur. This should cover all aspects of quantity and effectiveness. Surround, local and background luminances or illuminances are calculated. Supplementary lights should then be added if required for any tasks and an evaluation made of the resulting Contrast Rendition Factors (CRF's) to determine the effectiveness of the system. Adjustments should then be made (during design development) to insure that all program goals have been met. When this is completed, there is at least the potential for a high quality lighting system.

The next steps that are necessary to achieve this potential are:

1. A good set of working drawings that accurately locate each luminaire, and its focus, and clearly indicate its type.

2. A comprehensive set of specifications that leave no doubt about the luminaire photometric properties; distribution and viewed photometric brightness, etc.

3. A thorough review of the shop drawing submission to determine if everyting required in the specification is provided.

4. Careful field observation of the installation to achieve compliance with the locations, lamping and focus indicated on the working drawings.

The best design, plans and specifications are worthless without careful follow-up to assist the contractor in achieving the carefully prepared project goals.

Une quantification complète doit se faire une fois que l'on a déterminé cette hiérarchie visuelle (ou **itinéraire**) du projet et que chaque espace est éclairé d'une façon qui lui donnera l'aspect voulu. On s'occupe alors de tous les aspects concernant la quantité et l'efficacité. On calcule la luminance ou l'éclairement du champ périphérique, local et du fond. Au besoin, on ajoute alors des lampes supplémentaires, et on évalue les facteurs de rendu du contraste (CRF = Contrast Rendering Factor) pour déterminer l'efficacité du système. On fait ensuite des réglages (au cours de l'élaboration de la conception) pour s'assurer que tous les buts du programme vont être réalisés. Une fois ce procédé achevé, il y a au moins une bonne possibilité d'obtenir un système d'éclairage de haute qualité.

Pour réaliser cette possibilité, il faut encore les éléments suivants:

1. Un bon ensemble de dessins de travail indiquant précisément chaque luminaire, sa focalisation et son type.

2. Un ensemble détaillé de spécifications couvrant toutes les caractéristiques photométriques des luminaires; la répartition et la luminosité photométrique visuelle, etc.

3. Un examen minutieux des dessins d'atelier soumis, afin de déterminer si l'on a prévu tout ce que précisent les spécifications.

4. Une observation attentive de l'installation, sur le terrain, pour s'assurer qu'elle se conforme aux précisions des dessins de travail sur la localisation, les lampes et la focalisation.

Même les meilleurs dessins, plans et spécifications ne valent rien sans un suivi minutieux qui aide l'entrepreneur à réaliser les buts du projet si soigneusement élaborés.

One more step is required. The client's maintenance and purchasing personnel must be present during the design process so they understand it thoroughly and be motivated to service it properly. Without their cooperation there is little hope of your lighting continuing to function as designed for the life of the project.

Enfin, dernière étape: le personne d'entretien et d'achat du client doit êtr présent pendant l'étape de conception afi qu'il connaisse à fond le système d'éclairag et qu'il soit motivé pour l'entretenir comm il faut. À moins qu'il y ait collaboration d la part de ce personnel, votre systèm d'éclairage a peu de chances de fonctionne tel que prévu pendant toute la vie utile d projet.

Our job is not complete until we have done a Post-Occupancy Evaluation (POE) survey. It is similar to the subjective and objective analysis described earlier. This feedback process insures that we continue to grow and advance lightings contribution to the environment. It takes at least this to provide good professional lighting design services.

Pour compléter notre travail, il nous fau encore faire une enquête d'évaluation après l'occupation, étude qui ressemble aux analyses subjective et objective susmentionnées. Ce procédé de vérificatio nous permet de faire des progrès dans l domaine de l'éclairage. C'est le minimum qu'il faut faire pour fournir de bons service professionnels en matière de conception d l'éclairage.

As mentioned earlier, here is a concept for an evaluation of Task Lighting Effectiveness (TLE) that we have been testing for use, in our office. By testing and gaining experience we should begin to understand the relative importance of the number value of the metric. To be useful any metric, including those used for illumination, should be as comfortable and readily understandable as say, a pound of butter, a liter of milk, etc. TLE is not a sensitive metric because vision is not as critical as body temperature where a few degrees up or down is meaningful.

Pour en revenir à ce que nous disions auparavant, voici donc un concept permettant d'évaluaer l'efficacité d'éclairage des tâches (TLE = Task Lighting Effectiveness) que notre cabinet d'experts essaie depuis quelque temps. La valeur numérique de la méthode devrait être vérifiée au moyen d'essais et à partir de l'expérience acquise. Pour être réellement utile, n'importe quel étalon, y compris les mes you do not already have a successful procedure:

you do not already have a successful procedure:

Si vous ne disposez pas d'une autre méthode ayant fait ses preuves:

1. Determine task illuminance target level required using IESNA illuminance selection procedure.

1. Déterminez le niveau d'éclairement voulu pour la tâche, en suivant la procédure de sélection de l'éclairement IESNA.

2 Design the lighting system.

2. Concevez le système d'éclairage.

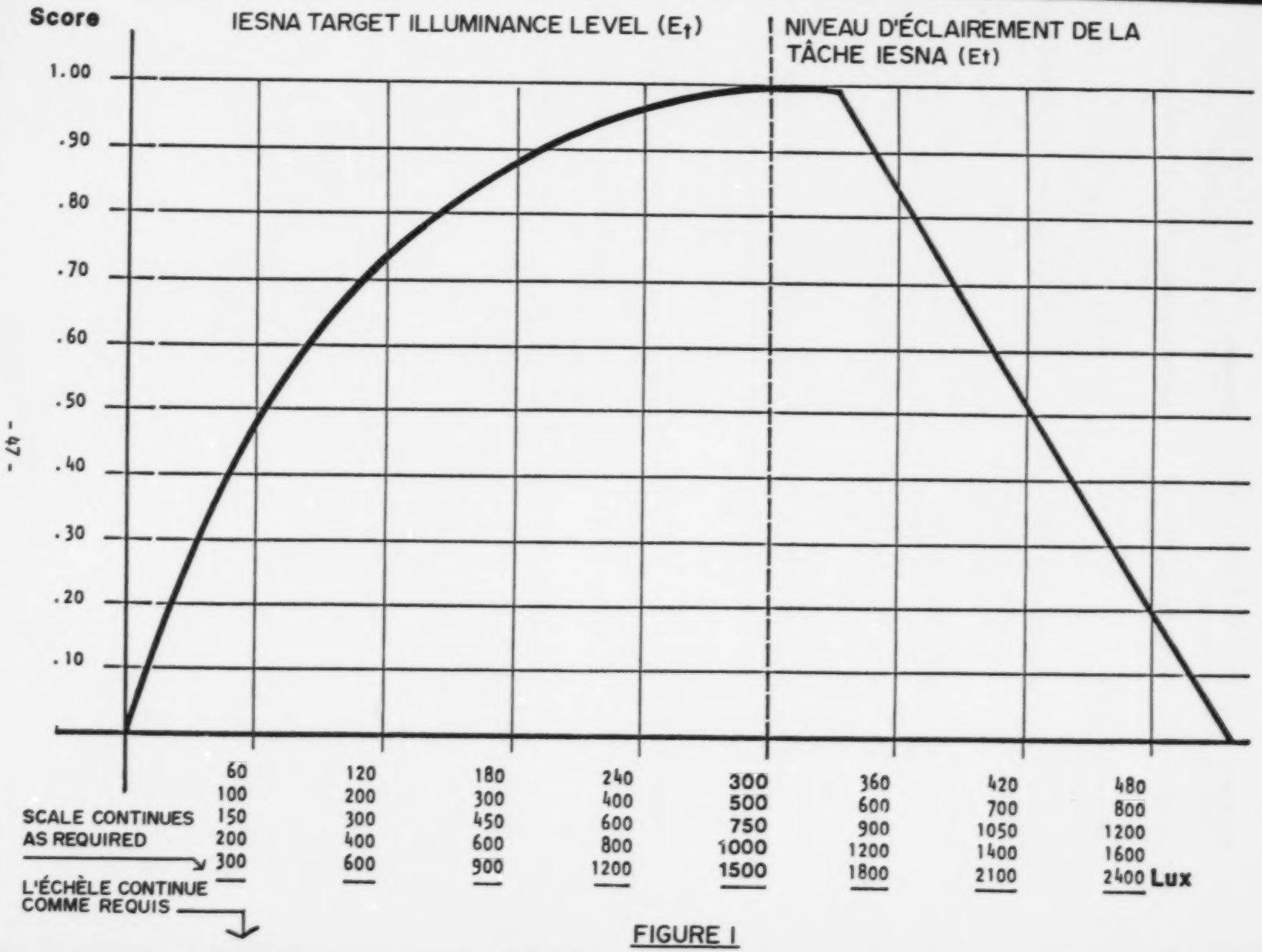

Score
IESNA TARGET ILLUMINANCE LEVEL (E_t)
NIVEAU D'ÉCLAIREMENT DE LA TÂCHE IESNA (E_t)
1.00
.90
.80
.70
.60
.50
.40
.30
.20
.10
60 100 150 200 300
120 200 300 400 600
180 300 450 600 900
240 400 600 800 1200
300 500 750 1000 1500
360 600 900 1200 1800
420 700 1050 1400 2100
480 800 1200 1600 2400
Lux
SCALE CONTINUES AS REQUIRED
L'ÉCHÈLE CONTINUE COMME REQUIS

FIGURE I

Example I

TLE = E x CRF x Score ÷ E_t

Computer Room - E_t = 1500 lux

Solution A

1000 x .75 x .88 ÷ 1500 = .44 TLE
E = 1000 lux
CRF = .75 If CRF was .9 TLE = .52
Score = .88

Solution B

1250 x .75 x .97 ÷ 1500 = .61 TLE
E = 1250 lux
CRF = .75 If CRF was .9 TLE = .73
Score = .97

Solution C

1600 x .75 x 1.0 ÷ 1500 = .80 TLE
E = 1600 lux
CRF = .75 If CRF was .9 TLE = .96
Score = 1.0

Solution D

2000 x .75 x .6 ÷ 1500 = .60 TLE
E = 2000 lux
CRF = .75 If CRF was .9 TLE = .72
Score = .6

Figure 2: example 1

Exemple I

TLE = E x CRF x Score ÷ E_t

Salle d'ordinateur - E_t 1 500 lux

Solution A

1 000 x 0,75 x 0,88 ÷ 1 500 = 0,44 TLE
E = 1 000 lux
CRF = 0,75 Si le CRF est de 0,9 TLE = 0,52
Score = 0,88

Solution B

1 250 x 0,75 x 0,97 ÷ 1 500 = 0,61 TLE
E = 1 250 lux
CRF = 0,.75 Si le CRF est de 0,9 TLE = 0,73
Score = 0,97

Solution C

1 600 x 0,75 x 1,0 ÷ 1 500 = 0,80 TLE
E = 1 600 lux
CRF = 0,75 Si le CRF est de 0,9 TLE = 0,96
Score = 1,0

Solution D

2 000 x 0,75 x 0,6 ÷ 1 500 = 0,60 TLE
E = 2 000 lux
CRF = 0,75 Si le CRF est de 0,9 TLE = 0,72
Score = 0,6

Figure 2: exemple 1

TLE = E x CRF x Score ÷ E_t

Example II - Administrators Task Area

E_t = 500 lux CRF = .60

Solution A
E = 300 lux TLE = .32
CRF = .60 If CRF was .9 TLE = .48
Score = .88

Solution B
E = 400 lux TLE = .46
CRF = .60 If CRF was .70 TLE = .54
Score = .96

Solution C
E = 500 lux TLE = .60
CRF = .60
Score = 1.00

Solution D
E = 700 lux TLE = .45
CRF = .60
Score = .53

Figure 3: example 2

TLE = E x CRF x Score ÷ E_t

Exemple II - Zone de travail des administrateurs

E_t = 500 lux CRF = 0,60

Solution A
E = 300 lux TLE = 0,32
CRF 0,60 Si le CRF est de 0,9 TLE = 0,48
Score = 0,88

Solution B
E = 400 lux TLE = 0,46
CRF = 0,60 Si le CRF est de 0,70 TLE = 0,54
Score = 0,96

Solution C
E = 500 lux TLE = 0,60
CRF = 0,60
Score = 1,00

Solution D
E = 700 lux TLE = 0,45
CRF = 0,60
Score = 0,53

Figure 3: exemple 2

3. Calculate illuminance and CRF.

4. Test the task lighting as follows:

   Task Lighting Effectiveness (TLE) = E x CRF x Score ÷ E_t

   where: E = System task illuminance level maintained

   CRF = Constrast Rendition Factor

   Score = Factor selected from graph

   E_t = Target illuminance level (IESNA)

To find score, place system E level over same number along target illuminance line. Read score. (See figure 1, 2 and 3)

5. Apply cost benefit analysis or other applicable measures.

6. Modify system or create one to suit your practice. This is only a conceptual model.

This metric is simple to use, consider: If you want to use a lower illuminance than IESNA recommends, you simply multiply your preferred level by its score then divide by the recommendation and you can see immediately how much attention you will have to pay to the task lighting problem.

I believe there is a good balance here between quantity of light and its task effectiveness.

3. Calculez l'éclairement et le CRF.

4. Effectuez le test suivant de l'éclairage sur la tâche:

   Efficacité de l'éclairage sur la tâche (TLE) = E x CRF x Score ÷ E_t

   où: E = Niveau d'éclairement sur la tâche maintenu par le système

   CRF = Facteur de rendu du contraste

   Score = Facteur choisi à partir d'un graphique

   E_t = Niveau d'éclairement voulu (IESNA)

Pour trouver le score, positionnez le niveau E du système au-dessus du même chiffre le long de la ligne d'éclairement voulue. Lisez le score. (Voir les solutions 1, 2 et 3)

5. Appliquez l'analyse coût-bénéfice ou d'autres mesures pertinentes.

6. Modifiez le système ou créez un système qui corresponde aux besoins de vos clients. Ce que nous vous avons présenté n'est qu'un modèle conceptuel.

Cette méthode-étalon est facile à utiliser. Si vous voulez utiliser un éclairement inférieur à celui recommandé par IESNA, vous multipliez simplement le niveau que vous préférez par son score, puis vous divisez le résultat par le chiffre recommandé, ce qui vous permet de voir toute de suite dans quelle mesure vous devrez vous occuper du problème d'éclairage sur les tâches.

Je pense qu'il y a ici un bon équilibre entre la quantité de lumière et son efficacité à la tâche.

In summary we:

1. review client's program;
2. visit selected facilities and then the client's existing site to establish a design vocabulary and project objectives;
3. compose a visual hierarchy for all spaces and an itinerary through them;
4. light each space appropriately for appearance;
5. supplement for the task requirements;
6. evaluate the total design;
7. prepare Bid-Documents;
8. meticulously check shop drawings and installation;
9. involve and instruct client's personnel in the system;
10. do a Post Occupancy Evaluation.

The part I want to place the most emphasis on, is that we first light all the spaces then supplement for the task. We do not light the task then supplement for the space.

En résumé, nous:

1. révisions le programme du client;
2. visitons des installations choisies, puis des locaux actuels du client, pour établir un vocabulaire de la conception et des objectifs de projets;
3. composons une hiérarchie visuelle pour tous les espaces ainsi qu'un itinéaire à travers ces espaces;
4. éclairons chaque espace correctement pour lui donner l'aspect voulu;
5. prévoyons des suppléments pour les besoins de chaque tâche;
6. évaluons la conception dans son ensemble;
7. préparons des documents d'appel d'offres;
8. vérifions minutieusement les dessins d'atelier et l'installation;
9. faisons participer et éduquons le personnel du client, en ce qui concerne le système;
10. effectuons une évaluation après l'occupation.

Ce que je veux souligner, c'est que nous éclairons d'abord tous les espaces, puis nous prenons des mesures supplémentaires pour chaque tâche précise; nous n'éclairons pas la tâche pour ensuite prendre des mesures supplémentaires concernant l'espace.

Dr. J.J. Vos
Instituut voor Zintuigfysiologie TNO
Kampweg 5, Postbus 23, 3769 ZG

ABOUT THE AUTHOR

Dr. J.J. Vos has been a member of the Institute for Perception TNO, Soesterberg since 1953. He received his degree in Physics from the University of Utrecht in 1954. He received his Ph.D. in 1963 following the presentation of his dissertation on "Our mechanisms of glare". Postdoctorate studies were at Medical College of Virginia 1963 and 1964; NSF fellowship for teaching Physiological Optics at Indiana University 1971.

Dr J.J. Vos
Institut voor Zintuigfysiologie TNO
Kampweg 5, Postbus 23, 3769 ZG

L'AUTEUR

Dr J.J. Vos est membre de l'Institute for Perception TNO, de Soesterberg, depuis 1953. Il a été diplômé en physique à l'université Utrecht en 1954 et a présenté sa thèse de doctorat sur les mécanismes de l'éblouissement ("Our mechanisms of glare") en 1963. Ses travaux post-doctoraux l'on amené à travailler au Collège Médical de Virginie en 1963 et 1964. En 1971, il a reçu une bourse de la NSF pour enseigner l'optique physiologique à l'université de l'Indiana.

Is report CIE 19/2 a useful instrument for the foundation of interior lighting?

In my presentation I will defend the following theses and illustrate them with examples:

1. The main message of CIE 19/2 is that task visibility - and performance by consequence - is only weakly dependent on luminance at current levels of interior lighting in the western world. This means that, when it comes to performance, light level is not the most relevant parameter. Unfortunately this conclusion does not transpire from the report.

2. The key theorem affirmed by the CIE 19/2 of a trade off between contrast and light level is inoperable. Contrast should be optimized at a given light level, rather than exchanged against light level.

3. The suggestion that visibility improves with increasing contrast is only valid at low contrast levels. Contrast can be optimal, roughly at 1 : 10 luminance ratio, with the range between 1 : 3 and 1 : 30 to be considered as acceptable.

4. Size as a variable is far underrated in CIE 19/2. Since size (in angular subtense) is directly related to work distance and thus to posture, use of reading glasses and the availability of optical instruments, it should be considered as an important variable in a more general approach to illuminating engineering as a sub-field of visual ergonomics.

5. The emphasis in CIE 19/2 on population statistics pressupposes that lighting should satisfy a broad spectrum of the population. In many cases the alternative of individual light setting deserves serious consideration.

Le rapport 19/2 de la CIE est-il un instrument utile en éclairage intérieur?

Dans mon exposé, je défendrai les thèses suivantes, et je les illustrerai avec des exemples:

1. Le principal message du rapport 10/2 de la CIE est que la visibilité de la tâche, et par conséquent la performance, ne dépend que très peu de la luminance aux niveaux actuels d'éclairement trouvés dans les bureaux du monde industrialisé. Cela signifie que, lorsque l'on parle de performance, le niveau d'éclairement n'est pas le paramètre le plus approprié. Malheureusement, cette conclusion ne se dégage pas du rapport.

2. Le théorème clé du rapport 19/2 de la CIE, selon lequel il y a compromis entre le contraste et le niveau d'éclairement, ne tient pas. Le contraste doit être optimisé à un niveau d'éclairement donné, et non échangé contre de l'éclairement.

3. La suggestion selon laquelle la visibilité augmente avec le contraste est valide seulement lorsque le contraste est faible. Le contraste peut être optimum, en gros à des rapports de luminance de 1:10, la zone 1:3 et 1:30 étant considérée comme acceptable.

4. Le rapport 19/2 sous-estime la dimension en tant que variable. Étant donné que la dimension (sous l'angle d'observation) est directement liée à la distance de travail, donc à la posture, à l'utilisation de verres correcteurs et à la disponibilité d'instruments optiques, elle devrait être considérée comme une variable importante, dans une conception plus générale de l'éclairagisme comme sous-ensemble du domaine de l'ergonomie visuelle.

5. L'importance des statistiques de population dans le rapport 19/2 présuppose que l'éclairage doit satisfaire une large tranche de population. Pourtant, on doit très souvent attacher une grande importance aux cas individuels.

6. When it comes to energy savings, the impact of CIE 19/2 is small with respect to, for instance, systematic application of task lighting rather than general uniform lighting.

7. None of the examples in CIE 19/2, illustrating the relation between visual performance and visibility applies to automated office work with self luminous VDT's. As a consequence important issues for visual performance, like visibility under reflections from luminaires remain notably absent in the discussion.

8. The foremost merit of CIE 19/2 lies in that it shows how a unified system for visual performance is far beyond reach - now, and in the foreseeable future.

9. Since light levels are, in general, not chosen on the basis of a performance criterion, we have to recognize their acceptance on subjective preferences and budget restrictions. We may add that acceptability is strongly influenced not by the absolute light level, but by the luminance distribution in a room and by the luminance ratios with adjacent rooms, including outside.

10. The above outlined objections can and have been converted to constructive guidelines on interior lighting recommendations, by the recently published dutch recommendations.

These theses and their foundation are the joint efforts of this responsible author and his colleagues Dr. P. Padmos and Mr. J.H. Leebeek.

6. En ce qui concerne les économies d'énergie, l'incidence du rapport 19/2 est faible si l'on considère, par exemple, l'éclairage local de façon systématique, plutôt que l'éclairage de la salle de travail.

7. Aucun des exemples contenus dans le rapport 19/2, illustrant la relation entre la performance visuelle et la visibilité, ne s'applique au travail de bureau automatisé avec des écrans de visualisation lumineux. Par conséquent, des problèmes importants relatifs à la performance visuelle, comme la visibilité sous les réflexions des luminaires, sont notablement laissés de côté.

8. Le plus grand mérite du rapport 19/2 est de montrer que l'on est loin d'avoir un système unifié de performance visuelle, maintenant et dans les années à venir.

9. Puisqu'on ne peut, en général, choisir les nivaux d'éclairement à partir du critère de performance, il nous reste à admettre que ce choix est basé sur des critères subjectifs d'acceptabilité et de restrictions budgétaires. Nous voulons ajouter que l'acceptabilité dépend dans une large mesure non pas du niveau d'éclairement absolu, mais de la distribution de la luminance dans la pièce et des rapports de luminance avec les pièces adjacentes, y compris avec l'extérieur.

10. Les objections susmentionées peuvent se traduire par des recommandations constructives sur l'éclairage intérieur, comme l'attestent les recommandations néerlandaises récemment publiées.

Ces thèses et leurs fondements sont les produits d'un travail conjoint de l'auteur et de ses collègues, les Dr P. Padmos et H.J. Leebeek.

Can the CIE concept of Visual Performances be applied to prescribe levels of interior lighting?

During the period from 1967 to 1982 the CIE Committee TC 3.1 worked on a model of Visual Performance as a criterion for lighting quality. Throughout these years our Institute has been represented in this Committee. However, the course of action the Committee took increasingly worried us, resulting in our disbelief in its correctness. As a consequence, in the end, the Dutch vote was against formal adoption of report 19/2, and it seems rather logical that we will here clarify and defend our apparently opposing views.

Our main factual objection against report 19/2 is that visual performance is postulated to be distinctly dependent on light level. To our feeling this is not the case, at least not at the light levels we are concerned with here, i.e. for office tasks in the Western World.

Figure 1 gives an example of the relationship between performance and luminance. Its shape, including the uncertainty band, is derived realistically on the basis of CIE 19/2 data, as was explained in our Kyoto paper[3]. Note that, in view of the shown uncertainty, performance is little affected by light levels above, say, 30 cd/m^2. *We therefore conclude that, for performance, light level seldom is the most relevant parameter.*

Peut-on recourir à l'idée générale de performance visuelle de la CIE pour prescrire les niveaux d'éclairement intérieur?

De 1967 à 1982, le comité TC 3.1 de la CIE a utilisé le critère de performance visuelle pour bâtir un modèle sur la qualité de la lumière. Au cours de ces années, notre Institut a été représenté sur ce comité. Toutefois, nous nous sommes inquiétés des actions prises par le comité et ceci nous a amené à ne plus croire en la justesse de celles-ci. Par conséquence, le vote Néerlandais a été contre l'adoption du rapport 19/2 et il semble logique que nous clarifions et défendions ici nos points de vue qui apparaissent différents.

Notre principale objection factuelle au rapport 19/2 est la performance visuelle est considérée dans ce rapport comme nettement dépendante de l'éclairement. Nous pensons que cela n'est pas le cas, tout au moins aux niveaux d'éclairement qui nous concernent, c'est-à-dire pour le travail de bureau dans le monde industrialisé.

La figure 1 donne un exemple d'une relation entre la performance et la luminance. La forme de la courbe, y compris la bande d'incertitude, a été obtenue de façon réaliste à partir de données se trouvant dans le rapport 19/2 de la CIE, comme nous l'avons expliqué dans notre exposé de Kyoto. On remarquera que, d'après la bande d'incertitude, un niveau d'éclairement supérieur à, disons, 30 cd/m^2 ne modifie plus la performance de façon notable. *Nous concluons donc que, en ce qui concerne la performance, le niveau d'éclairement est rarement le paramètre le plus pertinent.*

If this thesis is accepted the claim of CIE 19/2 that, ultimately, the proposed model should provide a cost/benefit analysis, becomes rather dubious. *As a consequence, luminance is not anymore a dependent variable that can be derived from task demands, but becomes a quantity essentially determined by considerations of client acceptability and budget restrictions*, even if this would be demeaning to our profession. I guess we have to admit that turning off part of the fluorescent tubes in the past years was just done on the basis of the above two considerations and that objections on the basis of inadequate visual performance were just not listened to.

Si l'on souscrit à cette thèse, l'assertion contenue dans le rapport 19/2 de la CIE selon laquelle, en fin de compte, le modèle proposé doit inclure une analyse de coûts et bénéfices devient quelque peu douteuse. *Par conséquent, la luminance n'est plus une variable dépendante qu'il est possible d'obtenir à partir des niveaux de demande de la tâche, elle devient au contraire une grandeur essentiellement déterminée par des considérations telles que l'acceptabilité par le client et les restrictions budgétaires*, même si cette façon de voir choque notre sens professionnel. Je pense que nous devons admettre que la décision de garder éteints une partie des tubes fluorescents, prise ces dernières années, a été basée sur ces deux considérations et que l'on n'a tout simplement fait aucun cas des objections relatives à la mauvaise performance visuelle.

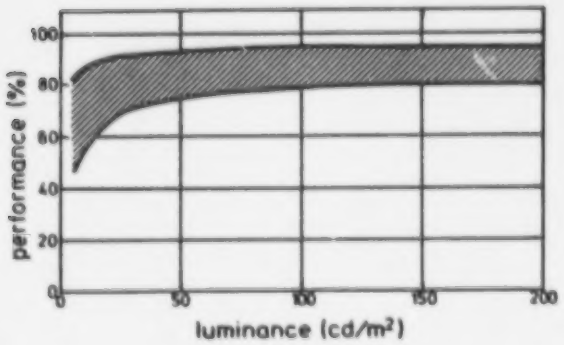


Figure 1: Performance does not change appreciably with luminance at current light levels.

Figure 1: La performance ne varie plus de façon notable avec la luminance à des niveaux d'éclairement usuels.

Another keystone of report 19/2 is that visibility steadily increases with contrast. But does it? Even if we accept the thesis of parallelism of suprathreshold visibility contours, - a thesis not unchallenged[4], we still face the readily observable fact that contrast can be just above optimum. This is illustrated in Figure 2 showing the reading time for traffic signs as a function of luminance contrast, measurements done by our colleague Van Meeteren[5] many years ago. It is admitted that, in printed tasks, it is difficult to reach above-optimum contrasts. But on visual displays terminals (VDT) excessively large contrasts are frequently encountered, and for the office of the future these terminals offer an illumination challenge for which report 19/2 gives no adequate answer.

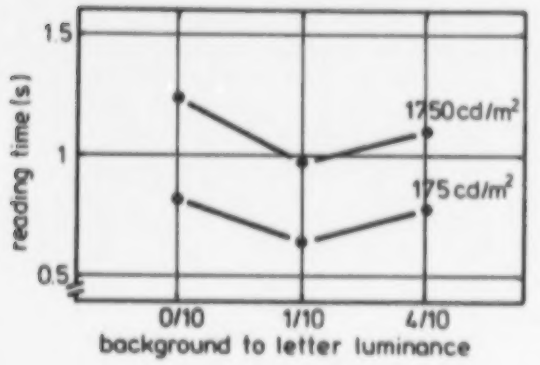


Figure 2: Reading time as a function of letter background contrast shows a distinct optimum at intermediate luminance ration 10 : 1.[5]

VDT's offer a visual problem that is hardly known in classical office tasks: the distracting effect of screen reflections from luminaires, windows, or the operator himself. These reflections are particularly distracting with a relatively dark screen background. Here the remedy is often a combination of *display engineering* (i.e. decreasing specular reflectance and increasing diffuse reflectance of the screen) and *illuminating engineering* (i.e. decreasing the luminance of luminaires reflected in the screen and increasing the illuminance of the screen).

Une autre thèse du rapport 19/2 est que la visibilité augmente uniformément avec le contraste. Mais est-ce vrai? Même si nous acceptons le parallélisme des contours de visibilité supraliminale, thèse d'ailleurs contestée, nous devons tenir compte du fait aisément observable que le contraste peut être tout juste sur-optimal. Cela est illustré à la figure 2 qui montre le temps de lecture des panneaux de circulation en fonction du contraste, mesures effectuées par mon collègue Van Meeteren il y a déjà de nombreuses années. On admet que, en ce qui concerne les tâches imprimées, il est difficile d'atteindre un contraste sur-optimal. Mais, avec les écrans de visualisation, les trop grands contrastes sont fréquents. Ces appareils seront bientôt monnaie courante dans les bureaux et les éclairagistes devront résoudre un problème auquel le rapport 19/2 n'apporte aucune solution satisfaisante.

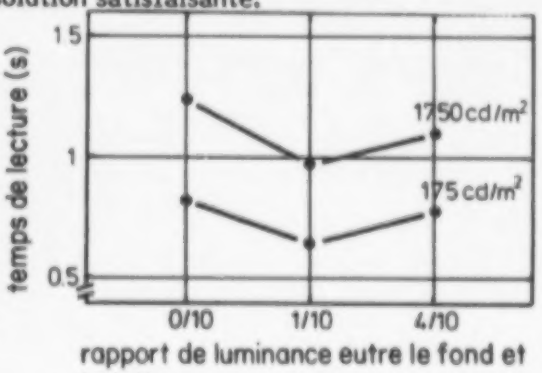


Figure 2: Temps de lecture en fonction du contraste entre la lettre et le fond. On observe un net optimum correspondant au rapport de luminance intermédiaire 10:1.[5]

D'autre part, les écrans de visualisation posent un problème visuel jusqu'ici pratiquement inconnu: l'effet perturbateur des réflexions sur l'écran des luminaires, des fenêtres ou de l'opérateur lui-même. Ces réflexions sont particulièrement gênantes lorsque le fond de l'écran est relativement sombre. Le remède a souvent deux composantes: la *conception de l'écran de visuabilisation* (diminuer la réflexion spéculaire et augmenter la réflexion diffuse de l'écran) et la *conception de l'éclairage* (diminuer la luminance des luminaires réfléchie sur l'écran et augmenter l'éclairement de l'écran).

It is a well known fact - and a well state one in report 19/2 - that older people need more light. But why is it so? Our explanation is that the older people are so affected mainly because of presbyopia which does not allow them to magnify their signal task by getting closer to it. A child can virtually read by pressing his nose against a book; the 60 year old is condemned to read at the distance allowed by his reading glasses, and his only way to improve visibility, then, is by asking for more light.

If this explanation is valid, it means that a lag in dioptric prescription (1/2 to 1 D lag is rather normal!) would trigger a requirement for more light. This effect is demonstrated in Figure 3 which gives, required light levels as a function of dioptric for four subjects of different ages. The criterion for needed light level was the readability of small print. The meaning of this graph is the following: if we regularly pay attention to the presbyopia state of our older employees, we may avoid complaints on the light levels. There is a trade off between light levels and dioptric correction. As stated elsewhere before, we may indicate that the solution to illumination complaints should be sought in a combination of *optometry* and *illuminating engineering*.

C'est un fait bien connu, et les auteurs du rapport 19/2 le reconnaissent, que les personnes âgées ont besoin de plus de lumière. Mais pourquoi? À notre avis, l'une des principales raisons, est que les personnes âgées ne peuvent plus, à cause de leur presbytie, grossir la tâche visuelle en se rapprochant. Un enfant peut lire le nez pratiquement collé au livre. La personne de 60 ans est condammée à lire à la distance permise par ses lunettes et le seul moyen d'améliorer la visibilité est alors d'augmenter l'éclairage.

Si cette explication est correcte, cela signifie qu'un manque de puissance (et un manque de puissance de 1/2 à 1 dioptrie est assez normal!) entraîne le besoin d'un meilleur éclairage. Cet effet est illustré à la figure 3 qui donne, pour quatre sujets d'âges différents, les niveaux d'éclairement requis en fonction de leur handicap visuel. Le critère pour la détermination du niveau d'éclairement requis était la visibilité de petits caractères d'imprimerie. Le message de ce graphique est le suivant: si nous surveillons régulièrement le pouvoir réfringent des yeux de nos employés plus âgés, nous pourrons éviter des plaintes au sujet de l'éclairage. Il y a tout simplement un échange entre l'éclairage et la correction de l'oeil hypermétrope. Comme dans le cas précédent de l'affichage et de l'éclairage, nous pouvons dire ici que le remède a ses racines dans deux domaines: *l'optométrie* et *l'éclairagisme*.

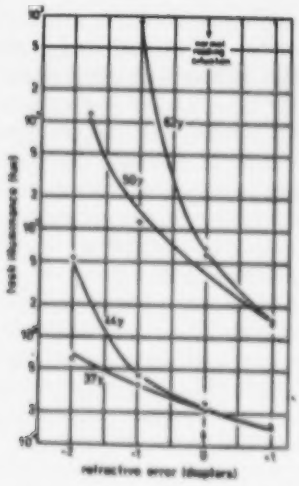


Figure 3: The task illuminance necessary to compensate for an added refractive handicap for four subjects of different ages.

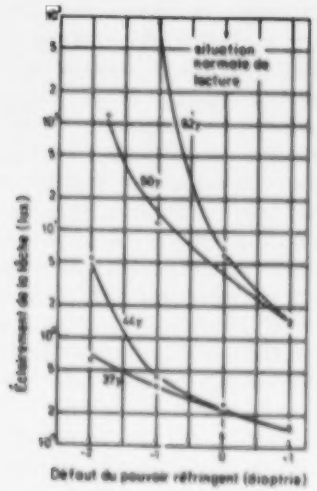


Figure 3: Éclairement de la tâche nécessaire pour compenser un défaut additionnel du pouvoir réfringent, pour quatre personnes d'âges différents.

Summarizing our experiences so far we cannot consider illuminating engineering as an autonomous discipline but include it in a more general field of knowledge, which we have called "visual ergonomics". This is shown on Figure 4.

Pour résumer les conclusions de nos études, nous pouvons dire qu'il est impossible de considérer l'éclairagisme comme une discipline autonome. Nous pensons plutôt que cette discipline fait partie d'un champ de connaissances plus large que nous avons appelé "ergonomie visuelle". Cela est illustré dans le schéma suivant (figure 4).

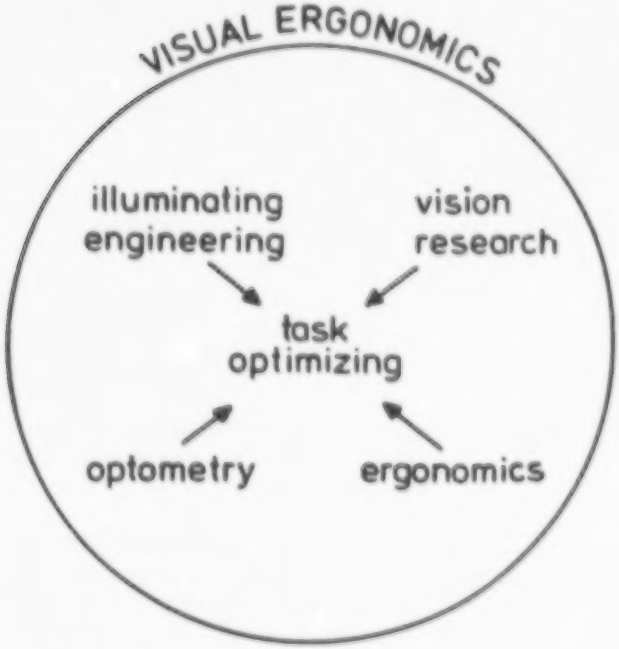


Figure 4: The broad field of visual ergonomics.

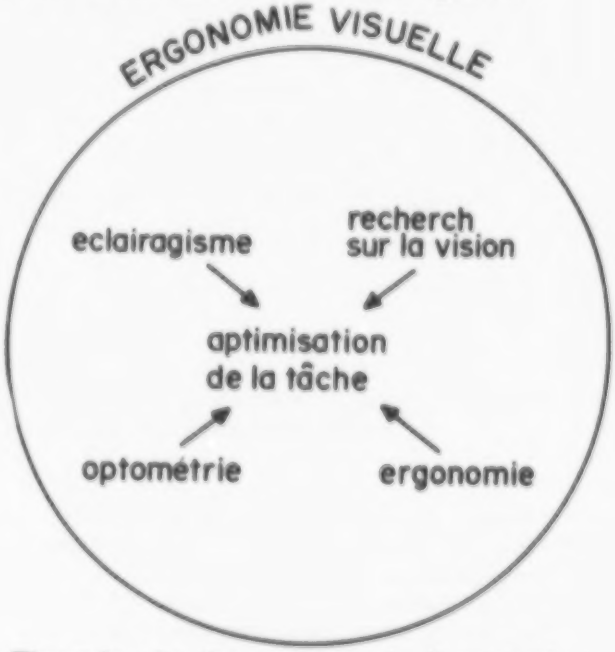


Figure 4: Le large champ de l'ergonomie visuelle.

This diagram shows how artificial it would be to isolate illuminating engineering, when it is realized that task optimization is the ultimate goal. This view is not without practical consequences and one of them is that the scope of report 19/2 is just too narrow to consider it as an adequate basis to satisfy all interior lighting principles. An intriguing question then is whether we should remedy this limitation by adding more parameters to the 19/2 system. Our answer to that question is definitely no, since that would be tantamount to "dropping from the frying pan into the fire". To prove our point we have plotted the complexity of the several stages of reports 19 in Figure 5. It shows an alarming growth in complexity over the years - with no sign of a final levelling-off.

Ce schéma montre combien il est artificiel d'isoler l'éclairagisme, une fois que l'on a admis que le but ultime est l'optimisation de la tâche. Cette façon de voir n'est pas sans conséquences pratiques et l'une d'entre elles est que la portée du rapport 19/2 est trop faible pour que l'on puisse se baser sur ce document pour établir les principes de l'éclairage intérieur. On peut alors se demander si l'on doit corriger cette faiblesse en ajoutant plus de paramètres au système 19/2. Notre réponse est un non catégorique, car nous ne ferions alors que tomber de la poêle dans le feu. Pour prouver ce que j'avance, j'ai représenté graphiquement à la figure 5, la complexité des brouillons successifs et des différentes versions des rapports 19. Ce graphique montre une croissance alarmante de la complexité au fil des années, et l'on n'entrevoit même pas de signe de stabilisation.

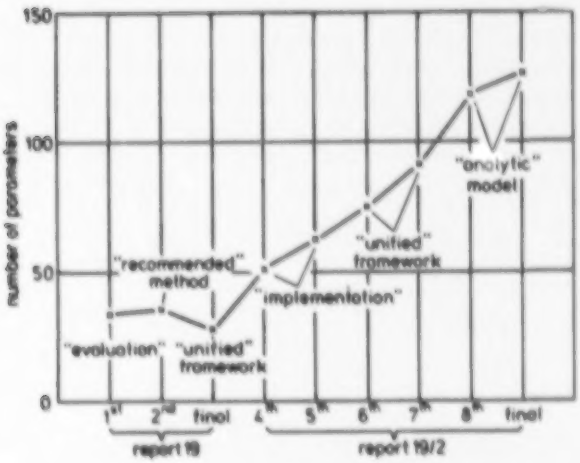


Figure 5: Expansion of complexity through subsequent drafts of reports 19.

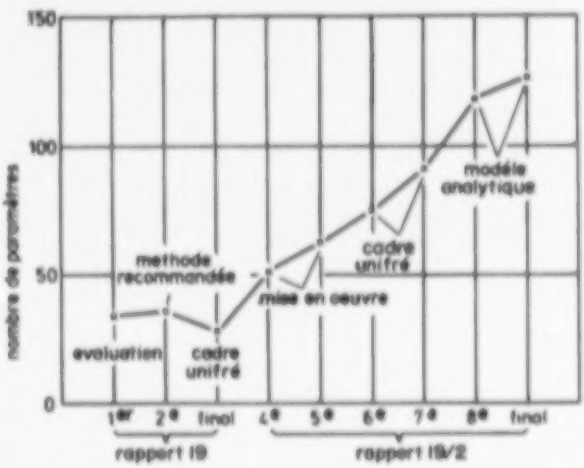


Figure 5: Croissance de la complexité dans les brouillons successifs des rapports 19.

In retrospect this graph forms a justification for our final approval - not withstanding objections - of the first report 19, and our vote against report 19/2 with no intentions of adding more parameters ourselves.

Ce graphique justifie rétrospectivement mon approbation finale, nonobstant des objections, du permier rapport 19, et mon opposition au rapport 19/2; il ne m'induit certainement pas à ajouter à mon tour de nouveaux paramètres.

We understand that our rejection of report 19/2 and our refusal to bring additional improvements is a poor answer to our host, Public Works Canada, who would prefer clear-cut guidelines for interior lighting. Let us, therefore, end this presentation with a more positive approach. To that purpose we may refer to the recently published new Dutch "Recommendations for interior lighting"[6]. Its way of thinking, we know, is far from unique, and can be found in other codes as well. It is not our purpose, of course, to explain its plan in any detail, but only to touch a few points that make it an attractive common sense guide.

First of all, the Dutch code does not argue its choice of a required light level. The required light level is indicated in Figure 6 (a translation of Figure 41d of the recommendations) by the lowest oblique line, A. It rests on no other ground than a qualified guess of what is acceptable to both users and the custodians of the budget. A poor basis to system believers - but nevertheless a realistic basis.

Maintenant, je comprends que notre opposition au rapport 19/2 et notre refus de chercher à l'améliorer puissent décevoir notre hôte, Travaux publics Canada, qui attend des lignes directrices précises en matière d'éclairage intérieur. J'aimerais donc terminer cette présentation sur une note plus positive. Pour cela, j'ai apporté quelques exemplaires d'un nouveau document récemment publié aux Pays-Bas. "Recommandations for Interior Lighting". Les conceptions exposées dans ce rapport sont loin d'être originales, bien entendu, et l'on peut les retrouver dans d'autres codes. Évidemment, ce n'est pas mon intention d'expliquer le contenu du rapport en détail. Je voudrais seulement mentionner quelques points qui m'ont paru intéressants.

Le permier point est que le code néerlandais ne remet pas en cause son choix d'un niveau d'éclairement requis. Le niveau d'éclairement requis est indiqué à la figure 6 (une traduction de la figure 41d des recommandations) par la ligne oblique inférieure, A. Il ne repose sur rien d'autres qu'une estimation éclairée de ce qui est acceptable à la fois pour les utilisateurs et pour ceux qui tiennent les cordons de la bourse. Cette base peut décevoir les systémistes, mais elle offre l'avantage d'être réaliste.

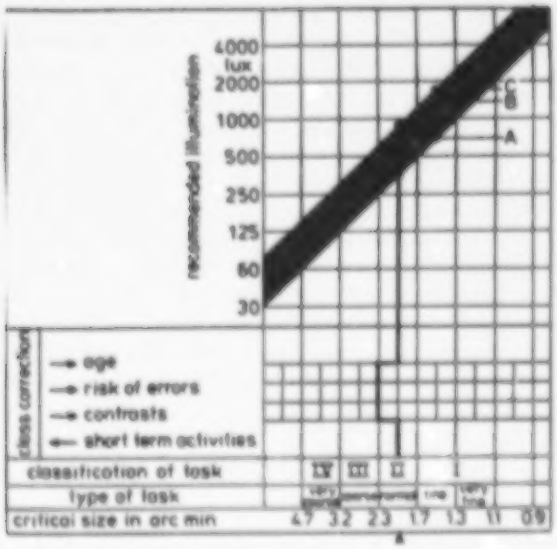


Figure 6: An example of the application of the Dutch interior lighting code[6].

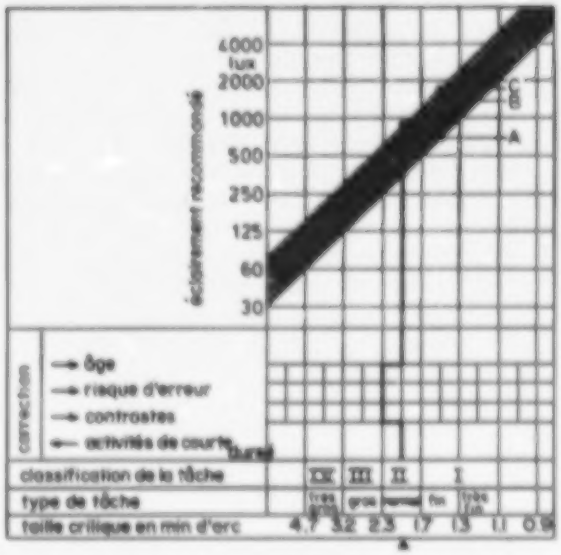


Figure 6: Exemple d'application du code néerlandais d'éclairage intérieur.

For "normal" work this required light level is fixed at 350 lux. The levels B and C can be left aside here; it will suffice to say that the grey zone indicates the penalty, in the form of a surplus illumination, one has to pay for insufficient maintenance and lack of attention for task lighting of the visual display.

The second characteristic is the stepwise variation around this required light level on the basis of task properties and worker's age. The stepsize corresponds to a 2 variation in light level. The heavy vertical line in the example of Figure 6 shows how it should be used in the case of reading the railway timetable by an older observer. This dependence on task demand and individual performance is, roughly, in tune with the report 19/2 doctrine. However, the stepwise changes reflect the conviction that any last decimal precision just rests on nothing and needlessly complicates the application of the recommendations.

Pour un travail "normal", le niveau d'éclairement requis est fixé à 350 lux. Il n'est pas nécessaire de parler ici des niveaux B et C; il suffit de savoir que la zone grise représente le surplus d'éclairement que l'on doit fournir si l'on ne s'est pas préoccupé d'entretenir correctement l'éclairage local sur le lieu de travail.

Le deuxième caractéristique est la variation en gradin autour de ce niveau d'éclairement requis, basée sur les niveaux de demande de la tâche et l'âge des travailleurs. La variation en gradin du niveau d'éclairement est égale à 2. Dans l'exemple de la figure 6, la ligne verticale pleine montre ce qui se passe dans le cas de la lecture d'un horaire de chemin de fer par une personne âgée. On retrouve, en gros, cette dépendance vis-à-vis des niveaux de demande de la tâche et de la capacité personnelle dans le rapport 19/2, mais les variations en gradin reflètent la conviction que toute précision sur la dernière décimale est entièrement injustifiée et complique inutilement la démarche.

As a third and last characteristic we may mention is the *emphasis on luminance ratios next to absolute light levels*. The importance of task contrasts was already mentioned, but here we pay in particular attention to the luminance ratios between different parts of the same room and between adjacent rooms. And again an optimum rule applies: the contrast can be too small (so that the employee is hardly conscious of having workplace lighting) or too high (so that he feels in the dark when not behind his desk). In particular this has important consequences for the admittance of daylighting in buildings.

Je mentionnerai enfin comme troisième et dernière caractéristique l'*importance, immédiatement après le niveau d'éclairement absolu, des rapports de luminance*. Cette importance des contrastes a déjà été soulignée mais, dans ces recommandations, on prête une attention particulière au rapport de luminance entre différentes parties d'une même pièce et entre des pièces adjacentes. Là encore, la règle de l'optimum s'applique: le contraste peut être trop faible (de telle sorte que l'employé est à peine conscient de l'éclairage) ou trop fort (de telle sorte qu'il se croit dans l'obscurité lorsqu'il n'est plus assis à son bureau). Ce phénomène a des conséquences importantes, surtout lorsqu'il s'agit de l'admission de la lumière du jour dans les bâtiments.

We conclude that the CIE 19/2 approach is generally inapplicable for lighting design and that a more integrative look at the performance problems in terms of visual ergonomics offers a realistic alternative for the "analytic model" way of thinking.

Notre conclusion est que l'approche utilisée dans le rapport 19/2 de la CIE n'est pas applicable pour la conception de l'éclairage. Une vue plus globale des problèmes de performance, en termes d'ergonomie visuelle, nous offre une approche de pensée du "modèle analytique" beaucoup plus réaliste.

References/Références

1 CIE, A unified framework of methods for evaluating visual performance aspects of lighting. Publication No. 19, 1972.

2 CIE, An analytic model for describing the influence of lighting parameters upon visual performance. Volume I and II. Publication 19/2, 1981.

3 P. Padmos and J.J. Vos, The validity of interior light level recommendations: some neglected aspects. Proc. CIE, Kyoto 1979, p. 36-45.

4 G. Yonemura, Criteria for recommending light levels. These proceedings.

5 A. van Meeteren, H.J. Leebeek and N.H. Blokland-de Graaf, Legibility of internally illuminated road indicators. Report Institute for Perception TNO, IZF 1968-C2 (in dutch).

6 Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde, Recommendations for interior lighting (in dutch), 1981.

J.A. Lynes, BSc. (ENG.) M.A., MIEE, FCIBS
Thorn Lighting Ltd.
Research and Engineering Laboratory
Great Cambridge Road
Enfield, Middlesex, Great Britain
EN1 1UL

ABOUT THE AUTHOR

J.A. Lynes entered the lighting industry in 1948 as a lighting engineer with Falks, a British manufacturer of lighting equipment. After several years of experience in lighting design and photometry, he joined the AEI Lamp and Lighting Company in 1955, first taking charge of lamp photometry, later moving into discharge lamp development. He joined Pilkingston Brothers, glass manufacturers, in 1962, to head their advisory service on window design for architects. He became a full-time teacher in 1967 as Lecturer in Architecture at Manchester University, and, from 1972, Principal Lecturer in Architecture at Plymouth Polytechnic. He returned to the lighting industry in 1979 with responsibility for interior lighting applications research at the Jules Thorn Lighting Laboratory, Enfield, Middlesex, England. He is the author of the textbook "Principles of Natural Lighting", co-author of "Windows and Environment", editor of "Developments in Lighting - 1". He has authored over 40 papers on lighting. He is active in British IES (now the Lighting Division of the Chartered Institution of Building Services), and a member of the editorial board of the journal "Lighting Research and Technology".

J.A. Lynes, BSc. (ENG.) M.A., MIEE, FCIBS
Thorn Lighting Ltd.
Research and Engineering Laboratory
Great Cambridge Road
Enfield, Middlesex, Grande-Bretagne
EN1 1UL

L'AUTEUR

J.A. Lynes a commencé sa carrière en 1948 à titre d'éclairagiste chez Falks, société britannique de fabrication de matériel d'éclairage. Ayant acquis une bonne expérience en conception d'éclairage et en photométrie, il est ensuite passé en 1955 à la AEI Lamp and Lighting Company, où il a d'abord été responsable de la photométrie des lampes puis de la mise au point des lampes à décharge. Il a joint le verrier Pilkington Brothers en 1962, à titre de directeur des services consultatifs sur la conception des fenêtres à l'intention des architectes. En 1967 il devient professeur attitré en architecture à l'université de Manchester et, à partir de 1972, maître de conférence en architecture à l'École Polytechnique de Plymouth. En 1979, il revient à l'industrie en prenant la charge des recherches sur les applications de l'éclairage intérieur au Jules Thorn Lighting Laboratory, à Enfield, dans le Middlesex, en Angleterre. M. Lynes est l'auteur du manuel "Principles of Natural Lighting", co-auteur du livre "Windows and Environment", rédacteur de "Developments in Lighting - 1". Il a également signé plus de 40 études sur l'éclairage. Il est membre actif du British IES (aujourd'hui connu sous le nom de Lighting Division of the Chartered Institution of Building Services) et fait partie du comité de la rédaction de la revue "Lighting Research and Technology".

FIELD MEASUREMENTS OF LIGHTING FOR VISUAL PERFORMANCE POTENTIAL

To implement design procedures based upon CIE Publications 19 and 19/2 one needs simple, inexpensive, portable instrumentation for evaluating the relative visibility (RV) of a given visual task, and for estimating the contrast rendering factor (CRF).

A visibility meter

Within the CIE framework the visual difficulty of a task is described by the equivalent contrast (C). The equivalent contrasts of different tasks may be compared by means of a contrast-reducing visibility meter.

Figure 1 shows the basic components of such a meter. Direct light from the task, whose background luminance L is combined, in variable proportions, with diffuse light from another surface of uniform luminance V. This combination is achieved by a component C which attenuates the light from each direction so that the resultant background still keeps the same luminance L. The observer adjusts the proportions of diffuse ('veiling') light and of direct light from the task, so that the critical detail is only just detectable. Let p be the proportion of direct light transmitted under this condition. The 'relative visibility' (the ratio of the actual task contrast to this threshold contrast) is equal to (1/p).

ÉVALUATION DU POTENTIEL DE PERFORMANCE VISUELLE: MESURES DE L'ÉCLAIRAGE EN SITUATION RÉELLE

Pour mettre en application les méthodes de conception basées sur les rapports 19 et 19/2 de la CIE, nous avons besoin d'un instrument portatif, simple et peu coûteux nous permettant d'évaluer la visibilité relative (RV = Relative Visibility) d'une tâche visuelle donnée et d'estimer le facteur de rendu des contrastes (CRF = Contrast Rendering Factor).

Visibilimètre

Dans le cadre défini par la CIE, la difficulté visuelle d'une tâche est représentée par le contraste équivalent (C). On peut comparer les contrastes équivalents de différentes tâches au moyen d'un visibilimètre fonctionnant par atténuation des contrastes.

La figure 1 montre les principaux éléments d'un tel instrument. La lumière directe provenant de la tâche, dont la luminance de fond L, est combinée, en proportion variable, avec la lumière diffuse provenant d'une autre surface dont la luminance uniforme est V. Cette combinaison est obtenue au moyen d'un élément C qui atténue la lumière provenant de chaque direction de telle sorte que le fond résultant garde la même luminance L. L'observateur règle la proportion de lumière diffuse ("voile") et de lumière directe provenant de la tâche pour que le détail considéré soit juste décelable. Soit p la proportion de lumière directe transmise dans ces conditions. La "visibilité relative" (rapport du contraste réel de la tâche au contraste de seuil ainsi défini) est égale à 1/p.

Component C is the heart of the visibility meter and usually takes the form of a semi-silvered mirror of graded reflectance and transmittance[1]. Figure 2 suggests how the beam-splitter C and the separated luminance V might be replaced by a variable photometric sector disc whose opaque surface has a luminance V equal to the task luminance L[2]. If its aperture is equal to θ degrees the proportion p of direct light transmitted by the rotating disk is $(\theta/360)$. With θ adjusted for threshold conditions, the relative visibility of the task must be $(1/p)$, or $(360/\theta)$.

Figure 3 shows the outline of a sector disc designed so that the solid/void ratio encountered by a ray of light depends on its radial distance from the centre of the disc[3]. The effective aperture θ is therefore determined by the radius. A mask of this shape, about 100mm in radius, should be cut carefully from thin stiff matt white card, and mounted on the shaft of a small battery-operated electric motor. The visual task is viewed monocularly through the rotating disc, which should be held close to the eye to avoid overshadowing the task. The luminance V of the outer annulus of the rotating disc is matched to the luminance L of the visual task by tilting the disc so as to increase or decrease the illumination on its surface. The axis about which the disc is tilted must be at right angles to the direction of view; otherwise the effective aperture will be affected by the finite thickness of the disc itself. For overhead lighting the reflectance of the disc should ideally be slightly greater than the reflectance of the task; then so long as the disc illumination approximates to the task illumination, the luminances L and V will be roughly equal. If this condition is satisfied, L and V can be finely matched by tilting the disc, for the disc luminance will be insensitive to small changes in the angle of tilt. The reflectance and, if necessary, the colour of the disc should be selected to ensure a good visual match. The profile of the apertures may be tuned to give coarser or finer scaling.

L'élément C est le coeur du visibilimètre. Il s'agit généralement d'un miroir semi-argenté dont les facteurs de réflexion et de transmission sont progressifs. La figure 2 montre comment on peut remplacer le diviseur de faisceau C et la luminance séparée V par un disque photométrique comportant une ouverture variable, dont la surface opaque est de luminance V égale à la luminance de la tâche L[2]. Si l'angle au centre de l'ouverture du disque est θ, la proportion p de lumière directe transmise par le disque en rotation est égale à $\theta/360$. Lorsque θ est réglé pour que l'on ait des conditions de seuil, la visibilité relative de la tâche doit être égale à $1/p$, soit $360/\theta$.

La figure 3 montre un disque découpé de telle sorte que le rapport solide/vide rencontré par un rayon de lumière dépend de la distance radiale de ce rayon par rapport au centre du disque[3]. L'ouverture efficace θ est donc déterminée par le rayon. Il faut découper soigneusement un cache de cette forme, d'environ 100 mm de rayon, dans un carton blanc mat mince et rigide, que l'on montera sur l'axe d'une petit moteur électrique alimenté par une batterie. La tâche est alors vue de façon monoculaire à travers le disque en rotation qui doit être placé près de l'oeil afin d'éviter un excès d'ombre sur la tâche. Pour apparier la luminance V de l'anneau extérieur du disque à la luminance L de la tâche, on incline plus ou moins le disque de façon à augmenter ou à diminuer l'éclairement de sa surface. L'axe autour duquel le disque est incliné doit être perpendiculaire à la direction de visée; sinon, l'ouverture efficace est modifiée à cause de la petite épaisseur du disque lui-même. Pour un éclairage vertical, le facteur de réflexion du disque doit également être légèrement supérieur à celui de la tâche; dans la mesure où l'éclairement du disque est approximativement égal à l'éclairement de la tâche, les luminances L et V sont à peu près égales. Dans ces conditions, on peut apparier L et V avec précision en inclinant le disque, car la luminance du disque sera insensible à de petites variations de l'angle d'inclinaison. On doit choisir le facteur de réflexion, et au besoin la couleur du disque, de façon à permettre un bon appariement visuel. On peut obtenir un ajustement plus ou moins précis en modifiant le profil des ouvertures.

In operation, the rotating sector disc is traversed radially until the relevant task detail becomes just undetectable. Circles are marked on the surface so that the observer can note the radius corresponding to the contrast threshold. He then stops the motor and reads, at the appropriate position on the disc, the relative visibility of the task. Colour-coded lines remove the need to stop the motor between readings.

This simple comparator is not, of course, a complete substitute for an orthodox visibility meter. It cannot be used for binocular viewing or for the 0.2s exposure recommended in CIE Publication 19. Its presence must affect the task illumination and hence its visibility (this critisism applies in some measures to all visual task evaluators). Stroboscopic effects had been anticipated but the angular velocity of the disc was sufficient to eliminate these when tubular fluorescent lamps were used at mains frequency; the instrument would however be unsuitable for pulsed sources. Since the field of view is unrestricted, readings may be affected by disability glare and by transient adaptation effects. This is a benefit for most practical purposes, but would be a severe drawback in a research instrument. Perhaps the main source of error lies in the danger of over-casual matching of background and veiling luminances; this match would be upset by a careless movement of the hand-held instrument.

Lors de la mesure, le disque découpé en rotation est traversé radialement jusqu'au moment où le détail de la tâche n'est plus décelable. Des cercles sont tracés sur la surface de telle sorte que l'observateur puisse noter le rayon correspondant au seuil de contraste. Il arrête alors le moteur et lit, à la position appropriée sur le disque, la visibilité relative de la tâche. Des traits de couleur permettent d'effectuer les lectures sans arrêter le moteur.

Bien entenu, ce comparateur simple ne peut remplacer complètement un visibilimètre classique. On ne peut pas l'utiliser pour une vision binoculaire ou pour l'exposition de 0,2 s recommandée dans le rapport 19 de la CIE. La présence du comparateur modifie sûrement l'éclairement de la tâche donc sa visibilité (ce qui est vrai dans une certaine mesure pour tous les instruments d'évaluation des tâches visuelles). On avait prévu des effets stroboscopiques, mais la vitesse angulaire du disque a été suffisante pour éliminer ces effets lorsqu'on a utilisé des tubes fluorescents alimentés à la fréquence du secteur; cependant, l'instrument ne conviendrait pas pour des sources d'impulsions. Le champ de vision n'étant pas limité, les effets d'éblouissement perturbateur et d'adaptation transitoire peuvent entraîner des erreurs de lecture. Cela est un avantage dans la plupart des cas pratiques, mais ce serait un grave inconvénient avec un instrument de recherche. La principale source d'erreur vient peut-être du danger d'un appariement trop fortuit des luminances de fond et de voile, que suffirait à perturber un mouvement involontaire de l'instrument tenu à la main.

The comparator can be constructed quickly and cheaply to demonstrate the contrast reduction principle underlying the design of all up-to-date visibility meters. Its calibration is easy to establish without photometric facilities, and will not change. It works equally well for polarised and for unpolarised illumination. Since the colour of the light striking the disc will normally match the colour of the light striking the task the instrument is suitable for all sources of light. Experience has confirmed that it is sufficiently sensitive to permit comparison between different visual tasks under the same lighting system, or between different methods of lighting a given task.

Il est possible de construire le comparateur rapidement et à bon marché, afin de démontrer le principe de l'atténuation des contrastes à la base de la conception de tous les visibilimètres modernes. L'étalonnage du comparateur est facile, ne nécessite pas de dispositifs photométriques, et demeure stable une fois établi. L'appareil fonctionne tout aussi bien en éclairage polarisé qu'en éclairage non polarisé. La couleur de la lumière incidente sur le disque étant nomralement la même que celle de la lumière incidente sur la tâche, le comparateur convient à toutes les sources de lumière. L'expérience a confirmé que l'appareil est suffisamment sensible pour permettre la comparaison de différentes tâches visuelles placées sous un même éclairage, ou encore la comparaison de divers éclairages pour une même tâche.

There is considerable scope for refining this instrument. A visibility meter for laboratory use, based on the sector disc principle, is now commercially available in the U.K.[4] It is the author's belief, however, that the simple device outlined above should suffice for many practical purposes.

L'instrument peut encore être considérablement amélioré. Un visibilimètre de laboratoire, basé sur le principe du disque à ouverture, est maintenant sur le marché au Royaume-Uni[4]. L'auteur croit cependant que l'appareil simple décrit ci-dessus devrait suffir pour de nombreuses applications pratiques.

The Enfield CRF Indicator

Figure 4 shows the principle of a new indicator for contrast rendering factor (CRF)[5]. Identical pencil circles are drawn at constant pressure on a graded series of matt grey card backgrounds. These are laid flat on the desk, table or drawing board, and viewed from the normal working position. One of the rings will seem to 'disappear' into its grey background. Which one disappears will depend on the CRF of the lighting system, and each grey background is calibrated to show directly the CRF at which its pencil circle will disappear. Frequently the true CRF will lie between the ring that looks just lighter and the ring that looks just darker than its background. In practice too the pencil line causes the card to indent, so different areas of the same circule may have different directional reflectances, the disappearance of the circule may be incomplete, and the user must use a little skill in judging the effective balance-point. This is in the nature of visual photometry.

L'indicateur CRF d'Enfield

La figure 4 montre le principe d'un nouvel indicateur du facteur de rendu des contrastes (CRF)[5]. Des cercles identiques sont tracés au crayon, avec une pression constante, sur une série de cartes gris mat étalonnées. Ces cartes sont disposées à plat sur le bureau, la table ou la plache à dessin, et son regardées à partir de la position normale de travail. L'un des cercles semblera "disparaître" dans le fond gris. Lequel disparaît dépend du CRF du système d'éclairage, et le CRF auquel le cercle au crayon disparaît est inscrit sur chaque fond gris. Il arrive souvent que le véritable CRF se situe entre celui de cercle qui apparaît juste un peu plu pâle et celui du cercle qui apparaît juste un peu plus sombre que le fond. En pratique, aussi, le trait de crayon fait une empreinte dans la carte, de sorte que différentes zones du même cercle puissent présenter les facteurs de réflexion directionnelle différents, d'où disparition incomplète du cercle; l'appréciation du point d'équilibre réel demande donc un minimum d'habileté de la part de l'utilisateur. Cela est la caractéristique inhérente de la photométrie visuelle.

The principle of the Enfield CRF Indicator

The luminance contrast C for a real pencil-on-paper task is given by the expression:

$$C=(L_B - L_T)/L_B \quad (1)$$

where L_B = luminance of background paper, candelas per square metre

L_T = luminance of pencil task detail, candelas per square metre

Assumes a perfectly matt paper background, and divide numerator and denominator of equation (1) by the illumination (lux):

$$C = (\rho_B - \beta_T)/\rho_B \quad (2)$$

where ρ_B = reflectance of matt paper

$\beta_T = L_T/E$ = luminance factor, or directional reflectance factor, of pencil task detail.

The physical definition of the contrast rendering factor CRF is

$$CRF = C/C_{ref} \quad (3)$$

where C_{ref} = task contrast under reference sphere lighting conditions

By analogy with equation (2)

$$C_{ref} = (\rho_B - \beta_{Tref})/\rho_B \quad (4)$$

where β_{Tref} = luminance factor, or directional reflectance factor, of pencil task detail under reference sphere illumination

Substitute, in equation 3, values of C and C_{ref} from equations (2) and (4):

$$CRF = \frac{\rho_B - \beta_T}{\rho_B - \beta_{Tref}} \quad (5)$$

Le principe de l'indicateur CRF d'Enfield

Le contraste de luminance C pour une tâche réelle consistant en un trait de crayon sur du papier est donné par l'expression:

$$C=(L_B - L_T)/L_B \quad (1)$$

où L_B = luminance du fond, en candelas par mètre carré

L_T = luminance du trait de crayon, en candelas par mètres carré

Supposons un papier de fond parfaitement mat, et divisions le numérateur et le dénominateur de l'équation (1) par l'éclairement (en lux):

$$C = (\rho_B - \beta_T)/\rho_B \quad (2)$$

où ρ_B = facteur de réflexion du papier mat

$\beta_T = L_T/E$ = facteur de luminance énergétique, ou facteur de réflectance directionnelle, du trait de crayon.

La définition physique du facteur de rendu des contrastes CRF est

$$CRF = C/C_{ref} \quad (3)$$

où C_{ref} = contraste de la tâche dans des conditions d'éclairement sphérique de reférence

Par analogie avec l'équation (2)

$$C_{ref} = (\rho_B - \beta_{Tref})/\rho_B \quad (4)$$

où β_{Tref} = facteur de luminance énergétique, ou facteur de réflectance directionnelle, du trait de crayon sous éclairement sphérique de référence

Portons dans l'équation 3 les valeurs de C et C_{ref} obtenues des équations (2) et (4); il vient:

$$CRF = \frac{\rho_B - \beta_T}{\rho_B - \beta_{Tref}} \quad (5)$$

The problem of calibrating the CRF indicator boils down to assigning values to ρ_B, β_T and β_{Tref}. Recall that ρ_B is the reflectance of a representative sheet of matt white paper, not the reflectance of a grey indicator card. This reflectance may be assigned arbitrarily. A reflectance of 0.836 has been taken for ρ_B, to agree with the luminance factor, for reference sphere illumination and 25-degree viewing, of the background paper in the current IES handwriting task.

The value of β_{Tref}, the luminance factor of the pencilled circle under reference sphere illumination, is found by observing, inside an integrating sphere, the reflectance of the grey card on which the circle vanishes; in this situation β_{Tref} must equal the grey card reflectance. This procedure gives a luminance factor β_{Tref} of 0.165, which is found to be constant over a very wide range of viewing angles.

These values of ρ_B and β_{Tref} are constants for the Enfield indicator. The remaining term in equation 5 is β_T, the luminance factor of the pencil circle seen on, for example an office desk; this term depends on both the geometry of the incident light and also the direction of view. Again one observes the grey card on which the circle vanishes; in this situation β_T must equal the grey card reflectance, which can be determined for each grey card in advance by classical photometric means.

The CRF calibration corresponding to each grey card is thus found by adapting equation 5 for each card:

$$\text{CRF calibration} = \frac{0.836 - \text{grey card reflectance}}{0.836 - 0.165}$$

$$= 1.25 - (1.5 \times \text{grey card reflectance}) \qquad (6)$$

Le problème de l'étalonnage de l'indicateur CRF revient à attribuer des valeurs à ρ_B, β_T et β_{Tref}. Il faut se rappeler que ρ_B est le facteur de réflexion d'une feuille de papier blanc mat représentative, et non pas celui d'une carte grise de l'indicateur. Ce facteur de réflexion peut être fixé arbitrairement. On a choisi un facteur de 0,836 pour ρ_B, en accord avec le facteur de luminance énergétique du fond utilisé dans les tâches d'écriture courantes de l'IES, pour un éclairement sphérique de référence et pour une vision à 25 degrés.

On trouve la valeur de β_{Tref}, le facteur de luminance énergétique d'un cercle tracé au crayon placé dans des conditions d'éclairement sphérique de référence, en observant, à l'intérieur d'une sphère intégrante, le facteur de réflexion de la carte grise sur laquelle le cercle disparaît; dans cette situation, β_{Tref} doit alors être égal au facteur de réflexion de la carte grise. Avec cette méthode, on obtient un facteur de luminance énergétique β_{Tref} de 0,165, constant dans une grande gamme d'angles de vision.

Ces valeurs de ρ_B et β_{Tref} sont constantes pour l'indicateur Enfield. Le dernier terme de l'équation 5 est β_T, le facteur de luminance du cercle au crayon vu, par exemple, sur un bureau; ce terme dépend à la fois de la géométrie de la lumière incidente et de la direction de visée. Là encore, on note la carte grise sur laquelle le cercle disparaît; dans cette situation, β_T doit être égal au facteur de réfexion de la carte grise, qui a été déterminé à l'avance par des moyens photométriques classiques.

On trouve alors la valeur du CRF correspondant à chaque carte grise en applicant l'équation 5 à chaque carte:

$$\text{Valeur du CRF} = \frac{0{,}836 - \text{facteur de réflexion de la carte grise}}{0{,}836 - 0{,}165}$$

$$= 1{,}25 - (1{,}5 \times \text{facteur de réflexion de la carte grise}) \qquad (6)$$

Applications of the Enfield indicator

Since β_{Tref} was found to be virtually independent of viewing direction the calibrated indicator works equally for all directions of view and, of course, for both polarised and unpolarised light. Furthermore, it is cheap, portable and direct-reading. It can, if desired, be calibrated approximately to read the lighting effectiveness factor LEF (i.e. the ratio of lux ESI to raw lux), for Fischer has shown that, for illuminations between 200 and 1000 lux, the LEF for a pencil-on-paper task is roughly equal to the fifth power of the CRF[6].

The adaption of a new standard pencil task on a postulated lambertian sheet of paper would lead to major simplifications in CRF prediction. These are explained in a separate paper to be published shortly[7].

Conclusions

The implementation of design procedures based upon CIE Publications 19 and 19/2 has been handicapped by the fact that the requisite instrumentation is not normally available outside the research laboratories. This note suggests possible ways of meeting the need inexpensively.

Applications de l'indicateur Enfield

β_{Tref} étant presque indépendant de la direction de visée, l'indicateur étalonné fonctionne aussi bien pour toutes les directions de visée et, bien entendu, que la lumière soit polarisée ou non. De plus, l'appareil est bon marché, portatif et il donne des mesures directes. On peut aussi, si on le désire, l'étalonner approximativement de façon à lire le facteur d'efficacité de l'éclairage (LEF = Lighting Effectiveness Factor, c.-à-d. le rapport entre les lux ESI et les lux bruts) car Fischer a montré que, pour des éclairements variant entre 200 et 1 000 lux, le LEF d'une tâche consistant en des traits au crayon sur du papier est approximativement égale au CRF élevé à la puissance cinq[6].

L'adoption d'une nouvelle tâche standard au crayon sur une feuille de papier à surface lambertienne simplifierait grandement les estimations de CRF. Les simplifications sont expliquées dans une étude distincte qui sera publiée prochainement[7].

Conclusions

La mise en oeuvre de méthodes de conception basées sur les rapports 19 et 19/2 de la CIE a été entravée par le fait que l'on ne dispose généralement pas des instruments nécessaires en dehors des laboratoires de recherche. La présente étude suggère des moyens peu coûteux de remédier à ce problème.

References/Références

1. Blackwell, H.R., 'Development of Procedures and Instruments for Visual Task Evaluation', Illuminating Engineering, 65, 267-291 (1970).

2. O'Donnel, R.M., Critchley, S.H. and Chapman, R., 'Sector disc visibility comparator', Lighting Research and Technology, 8, 113-114 (1976).

3. Hyde, E.P., 'A new form of rotating sectored disc for spectro-photometric measurements', Physical Review, 31, 183-184 (1910).

4. Levy, A.W. and Nelder, J., 'Twin-rotating disc visibility meter', Lighting Research and Technology, 8, 163-166 (1976).

5. Lynes, J.A., 'A gauge for contrast rendering', Journal of the IES. To be published (1982).

6. Fischer, D., 'A practicable concept for the evaluation of veiling reflections', 4th Lux Europa, Granada, 1981.

7. Lynes, J.A., 'Designing for contrast rendition', Lighting Research and Technology. Submitted for publication (1982).

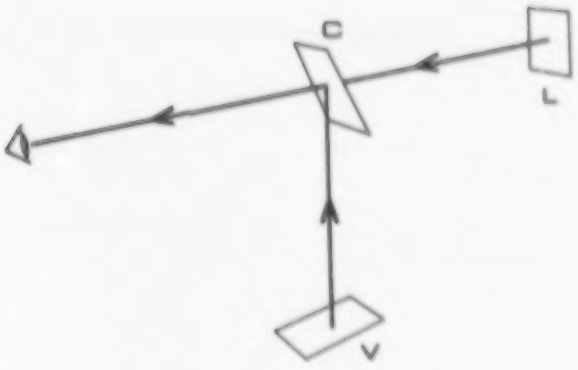


Figure 1: Principle of contrast-reducing visibility meter.

Figure 1: Principe du visibilimètre par atténuation des contrastes.

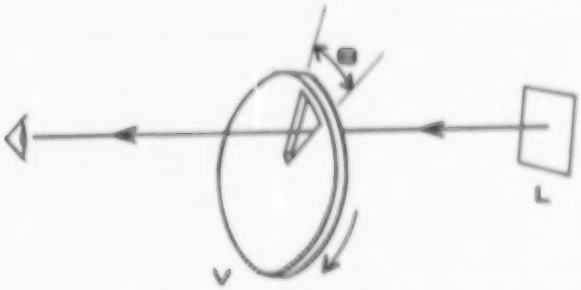


Figure 2: Sector disc as method of combining diffuse and direct light.

Figure 2: Disque à ouverture permettant de combiner la lumière diffuse et la lumière directe.

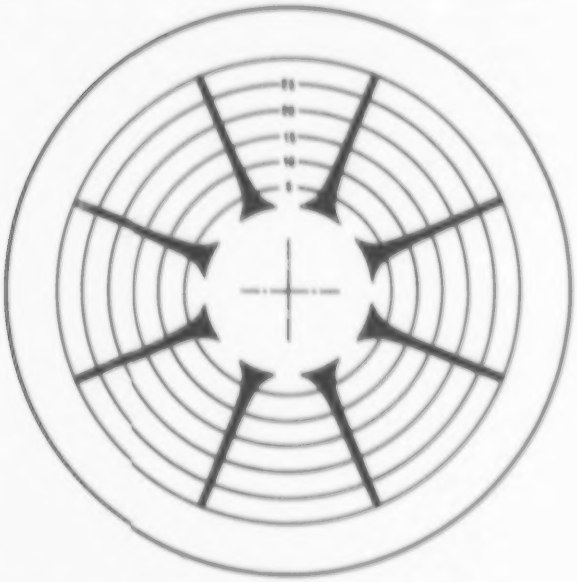


Figure 3: Sector disc visibility meter, calibrated in units of relative visibility. Apertures shown in black.

Figure 3: Visibilimètre avec disque à ouverture, dont l'échelle indique la visibilité relative. Les ouvertures sont en noir.

Figure 4: Three cards from the CRF indicator. On the left-hand card the pencilled circle looks darker than the card. On the right it looks lighter. On the middle card the circle melts into its background; the luminance factor of the pencil line equals the reflectance of this card.

Figure 4: Trois cartes de l'indicateur CRF. Sur la carte de gauche, le cercle au crayon paraît plus sombre que la carte. Sur la carte de droite, il paraît plus clair. Sur la carte du milieu, le cercle se confond avec le fond; le facteur de luminance énergétique de ce trait de crayon est égal au facteur de réflexion de cette carte.

Dr. M.S. Rea
Energy and Services Section
National Research Council
Ottawa, Ontario
K1A 0R6

Dr M.S. Rea
Section de l'énergie et des services
Conseil national de recherches
du Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0R6

ABOUT THE AUTHOR

Dr. Rea did his post-graduate work at the Institute for Research in Vision at Ohio State University, and received his Ph.D in sensory biophysics in August 1978. Since that time he has been employed at the National Research Council of Canada. He is the Canadian delegate to the Commission Internationale de L'Eclairage, Technical Committee 3.1 (visual performance), a member of the Illuminating Engineering Society, Committee for the Recommendation on the Quality and Quantity of Illumination (RQQ), and executive secretary to the National Research Council Office of Lighting Research.

L'AUTEUR

Dr Rea a fait ses études supérieures à l'Institute for Research in Vision de la Ohio State University. Il a reçu son doctorat en biophysique sensorielle en août 1978. Depuis, il est à l'emploi du Conseil national de recherches du Canada. M. Rea est le délégué canadien auprès de la Commission internationale de l'éclairage, Comité d'études 3.1 (Performance visuelle), et il est membre du Committee for the Recommendation of the Quality and Quantity of Illumination (RQQ) de la Illuminating Engineering Society. M. Rea est secrétaire de direction du Bureau de la recherche sur l'éclairage du Conseil national de recherches.

ABSTRACT

The relative contrast sensitivity (RCS) function in the CIE system has special significance. This curve or modifications of the function due to age, task demand, and task detail size are used to fit all visual performance data. As such, the RCS function is supposed to describe how the human visual system processes luminance modulations to produce variations in speed and accuracy responses. The merits of the RCS function as a general description of human contrast sensitivity at threshold and higher equivisibility levels are discussed.

RÉSUMÉ

La fonction de sensibilité différentielle relative (RCS = Relative Contrast Sensitivity), dans le système CIE, a une signafication spéciale. Effectivement, on utilise soit cette courbe, soit des modifications de la fonction compte tenu de l'âge, des exigences de la tâche et de la grandeur des détails de la tâche, pour représenter toute les données de performance visuelle. Ainsi, la fonction RCS est censée décrire comment le système visuel humain traite les modulations de luminance pour faire varier la rapidité et la précision des réactions. L'article examine également le mérite de la fonction RCS en tant que description générale de la sensibilité différentielle humaine au niveau liminal ainsi qu'aux niveaux d'équivisibilité supérieurs.

THE VALIDITY OF THE RELATIVE CONTRAST SENSITIVITY FUNCTION FOR MODELLING THRESHOLD AND SUPRATHRESHOLD RESPONSES

Introduction

The Relative Contrast Sensitivity (RCS) function is intended to be a general description of how people perceive luminance modulations (contrasts) at various adaptation levels. It is derived from a set of psychophysical threshold data (CIE 19/2.1, 1981) in which the absolute threshold contrasts (50 per cent probability of detection) for a 4-min. disc at several adaptation luminances have been established for a population of young adult observers. The inverse of this Visibility Reference Function (VRF) relating adaptation luminance to threshold contrast, normalized to 1.0 at 100 cd m^{-2}, is the RCS function (Figure 1).

As the RCS function is relative, the absolute height of the sensitivity function is unimportant for fitting various visual performance data sets. The shape of the function is, however, very important for fitting these data sets; without the proper form of the sensitivity function the visual performance data cannot be modelled. According to CIE 19/2.1, modifications in the shape of the RCS function depend upon the size of the stimulus "detail", the age of the observer, and the "task demand level". Using the RCS function and various weightings of modification factors, many sets of visual performance data have been modelled in CIE 19/2.1. The validity of the modelling will be discussed.*

* For most of the subsequent discussion age will be assumed constant and will hold for a population of young adults between 20 and 30 years of age, the reference population in CIE 19/2.1.

VALIDITÉ DE LA FONCTION DE SENSIBILITÉ DIFFÉRENTIELLE RELATIVE POUR LA MODÉLISATION DES RÉACTIONS LIMINALES ET SUPRALIMINALES

Introduction

La fonction de sensibilité différentielle relative (RCS) se veut une description générale de la manière dont les gens conçoivent les modulations de luminance (le contraste) à divers niveaux d'adaptation. Cette fonction est basée sur une ensemble de données liminales psycho-physiques (CIE 19/2.1, 1981), qui établissent, pour une population de jeunes observateurs adultes, le seuil de contraste absolu (probabilité de détection de 50 pour cent) pour un disque de 4 minutes d'arc, à plusieurs luminances d'adaptation. L'inverse de cette fonction de visibilité de référence (VRF = Visibility Reference Function) qui fait le lien entre la luminance d'adaptation et le seuil de contraste, normalisée à 1,0 à 100 cd m^{-2}, c'est la fonction RCS (figure 1).

Puisque la fonction RCS est relative, la hauteur absolue de la fonction de sensibilité n'a pas d'importance lorsqu'il s'agit d'adapter la fonction à divers ensembles de performance visuelle. Par contre, la forme de la fonction, elle, revêt une grande importance lorsqu'on veut associer la fonction à ces ensembles de données; en effet, à défaut d'une forme appropriée de la fonction de sensibilité, il est impossible de modéliser les données de performance visuelle. D'après la publication CIE 19/2.1, les modifications de forme de la fonction RCS dépendent de la grandeur du stimulus "détail", de l'âge de l'observateur ainsi que du "niveau d'exigence de la tâche". Dans CIE 19/2.1, on a modélisé de nombreux ensembles de données de performance visuelle, en se servant de la fonction RCS et de diverses pondérations des facteurs de modification. Nous examinerons plus loin la validité de ces modélisations.*

* Pour l'essentiel de ce qui suit, on supposera l'âge constant (une population de jeunes adultes âgés de 20 à 30 ans; c'est la population de référence de CIE 19/2.1).

RCS function as a description of threshold contrast sensitivity

The spatial characteristics of any two-dimensional stimulus (size, shape, etc.) can be precisely described by a two-dimensional series of sine waves of different spatial frequencies (Bracewell, 1978). Evidence of many investigators (e.g., Campbell and Robson, 1968; Kelly, 1977; Ginsburg, 1980) indicates that such a description is complete and accurate for visual stimuli. Spatial frequency is therefore better than size as a way of describing the important spatial characteristics of the human visual system. According to investigators the eye is comprised of several channels (between four and seven) spatially tuned to different frequencies. These channels in the spatial domain are closely analogous to those in the ear for the auditory domain. Thus, human spatial vision is constructed from the output of several spatial frequency channels. Knowing the weighting coefficients and interactions of these channels as well as the spatial composition of the stimulus, the sensitivity of the visual system, can, in principle, be predicted for any type of stimulus. Cornsweet (1970), for example, has created many interesting illusions through his knowledge of the spatial composition of the stimulus and the spatial frequency sensitivity of the human visual system.

Circular discs, the fundamental stimulus in the CIE 19/2.1 system, have a unique set of spatial frequencies. Clearly, not all visible spatial frequencies and their various combinations are included in this set; otherwise everything perceived could be constructed from discs of various sizes. The CIE system was extended, however, to cover Landolt rings; it was reported in CIE 19/2.1 that the RCS function describes contrast sensitivity for these stimuli as well. As the spatial power spectra for rings and discs are similar, it is not surprising that the RCS function approximately describes sensitivity functions for both sets of stimuli. Thus, the RCS function is not necessarily a completely general description of contrast

La fonction RCS en tant que description de la sensibilité différentielle liminale

On peut décire avec une grande précision les caractéristiques spatiales de n'importe quel stimulus bidimensionnel (grandeur, forme, etc.) au moyen d'une série bidimensionnelle d'ondes sinusoïdales de diverses fréquences spatiales (Bracewell, 1978). Le constatations de nombreux chercheurs (par exemple Campbell et Robson, 1968; Kelly, 1977, Ginsburg, 1980) indiquent qu'une telle description est à la fois complète et exacte pour les stimuli visuels. La fréquence spatiale représente donc un meilleur moyen que la grandeur lorsqu'il s'agit de décrire les caractéristiques spatiales importantes du système visuel humain. Selon les chercheurs, l'oeil comprend plusieurs canaux (de quatre à sept), syntonisés spatialement sur des fréquences différentes. Ces canaux dans le domaine spatial sont sensiblement analogues à ceux de l'oreille, dans le domaine auditif. La vision spatiale humaine est ainsi composée à partir des sorties de plusieurs canaux de fréquences spatiales. On peut, en principe, prévoir la sensibilité du système visuel pour n'importe quel type de stimulus, si l'on connaît les coefficients de pondération et les interactions de ces canaux ainsi que la composition spatiale du stimulus. Cornsweet (1970) par exemple a créé de nombreuses illusions intéressantes, grâce à sa profonde connaissance de la composition spatiale du stimulus et à la sensibilité du système visuel humain aux fréquences spatiales.

Les disques circulaires, stimulus fondamental dans le système CIE 19/2.1, possèdent un ensemble unique de fréquences spatiales. Évidemment, cet ensemble n'inclut pas toutes les fréquences spatiales visibles et leurs diverses combinaisons, car cela reviendrait alors à pouvoir reconstituer, à partir de disques de diverses dimensions, absolument tout ce qui est perçu. Cependant, on a élargi le système CIE afin qu'il englobe les anneaux de Landolt; on a signalé dans CIE 19/2.1 que la fonction RCS décrit la sensibilité différentielle pour ces stimuli aussi. Étant donné que les spectres de puissance spatiale des anneaux et des disques se ressemblent, il n'est guère surprenant que la fonction RCS

sensitivity simply because it describes sensitivity to discs and Landolt rings. Based upon the spatial frequency data mentioned above, a more general description of contrast sensitivity is required if one is to predict accurately the perceptions of observers to different spatial arrays like letters on a page, facial features, or fenders of a car.

décrire effectivement, de façon approximative, les fonctions de sensibilité pour ces deux ensembles de stimuli. La fonction RCS n'est donc pas nécessairement une description tout à fait générale de la sensibilité différentielle uniquement parce qu'elle décrit la sensibilité aux disques et aux anneaux de Landolt. On peut conclure des données de fréquences spatiales susmentionnées qu'il faudrait une description plus générale de la sensibilité différentielle si l'on veut prévoir, avec précision, la perception par les observateurs de réseaux spatiaux différents tels les lettres sur une page, les caractéristiques physionomiques, ou les ailes d'une voiture.

As a preliminary examination of this theoretical limitation of the RCS function, three subjects (mean age = 28 years) viewed two realistic stimuli, a face and a set of numerals. Both stimuli had spatial frequency spectra very different from those of discs or Landolt rings. At detection threshold the stimuli, viewed steadily or at 2.5 Hz (approximately 200 ms exposures), produced contrast threshold versus adaptation luminance functions of different shape (Figures 2 and 3). Further they were different in shape from the threshold VRF for the 4-min. disc. Figures 4 and 5 show the ratios of the standard VRF to these curves across adaptation luminance. Clearly the VRF cannot describe these detection threshold data for a face and for a set of numerals otherwise the curves in Figures 4 and 5 would be flat.

À titre d'examen préliminaire de cette limite théorique de la fonction RCS, trois sujets (âge moyen = 28 ans) ont regardé deux stimuli réalistes: un visage et un ensemble de chiffres. Les deux stimuli avaient des spectres de fréquence spatiale très différents de ceux qu'auraient les disques ou les anneaux de Landolt. Au seuil de détection, les stimuli, regardés fixement ou à 2,5 Hz (expositions d'environ 200 ms), ont produit des courbes de formes différentes du seuil de contraste en fonction de la luminance d'adaptation (figures 2 et 3). De plus, la forme de ces fonctions était différente de celle de la VRF du disque de 4 minutes d'arc. Les figures 4 et 5 indiquent les rapports entre la VRF standard et ces courbes, en fonction de la luminance d'adaptation. De toute évidence, la VRF ne peut pas décrire ces données de seuil de détection tant pour une visage que pour un ensemble de chiffres, car les courbes des figures 4 et 5 seraient alors horizontales.

CIE 19/2.1 (1981), unlike the original CIE 19 (1972), allows for changes in the shape of the RCS function. In the stimulus domain the changes in curve shape result from different sizes of task detail according to the newer document. An attempt was made to fit the threshold curves with VRF's of different shape from that for the 4-min. disc. The RCS curves are defined as below:

À l'encontre de la publication CIE 19 (1972) originale, la CIE 19/2.1 (1981) admet des changements de la forme de la fonction RCS. Selon ce document plus récent, dans le domaine de stimulus les changements de forme de la courbe sont dus aux écarts de grandeur des détails de la tâche. On a essayé d'associer les courbes de seuil à des VRF ayant une forme différente de celle du disque de 4 minutes d'arc. On a défini les courbes RCS comme suit:

$$RCS = n\left((S/tL_{ref})^{0.4} + 1 \right) - 2.5 \qquad (1)$$

where:

$$n = (S/t100)^{0.4} + 1)\, 2.5 \qquad (a)$$

$$\log S = 0.5900 - 0.6235 \log d - 0.1980\, \tilde{X} - s \qquad (b)$$

$\log t$ = 0.01053 (A-30), when $31 \leq A \leq 44$ and A is the subject's age in years
= 0 when subjects are between 20 and 30 years of age (c)

L_{ref} = luminance, in $cd \cdot m^{-2}$, of task under reference lighting conditions (d)

From (b):

$$\log \tilde{X} = \frac{(D/100) - 0.550}{1.355}$$

and D is the level of task demand
= -0.550/1.355 when task seen at detection threshold (b')

s = 0 when subjects are between 20 and 44 years of age (b")

d = size of task detail diameter in minutes of arc (b"')

The n and S parameters (inverse of equation 1) were allowed to vary in an iterative computer routine to fit the four sets of detection threshold data. As implied in the RCS formalism, the n and S parameters are independent; n is a normalization parameter necessary to shift the function up or down, and S is a shape parameter necessary to change the curvature of the RCS function. The solution for n and S provided a very good estimation of the contrast threshold data (see curves in Figures 2 and 3).

$$RCS = n\left((S/tL_{ref})^{0,4} + 1 \right) - 2.5 \qquad (1)$$

où:

$$n = (S/t100)^{0,4} + 1)\, 2.5 \qquad (a)$$

$$\log S = 0,5900 - 0,6235 \log d - 0,1980\, \tilde{X} - s \qquad (b)$$

$\log t$ = 0,01053 (A-30), où $31 \leq A \leq 44$ et A est l'âge du sujet, en années
= 0 lorsque les sujets sont âgés de 20 à 30 ans (c)

L_{ref} = luminance, en $cd \cdot m^{-2}$, de la tâche dans des conditions d'éclairage de référence (d)

De (b):

$$\log \tilde{X} = \frac{(D/100) - 0,550}{1,355}$$

et D est le niveau d'exigence de la tâche
= -0,550/1,355 lorqu'on voit la tâche au seuil de détection (b')

s = 0 lorsque les sujets sont âgés de 20 à 44 ans (b")

d = grandeur du diamètre des détails de la tâche, en minutes d'arc (b"')

Au moyen d'un sous-programme informatique itératif, on a fait varier les paramètres n et S (l'inverse de l'équation 1) afin de faire correspondre les quatre ensembles de données au seuil de détection. Comme l'implique la formulation RCS, les paramètres n et S sont indépendants; n est un paramètre de normalisation servant à déplacer la fonction vers le haut ou vers le bas, tandis que S est un paramètre de forme permettant de changer la courbure de la fonction RCS. Les solutions de n et S ont fourni une très bonne estimation des données au seuil de contraste (voir les courbes des figures 2 et 3).

Because all terms except task detail, d, in equation 1(b) were clearly defined for this experiment, the estimated values of S for each of the four detection threshold functions were used to solve for d. The estimated values of d for the four functions were determined, and the values presented in Table I. The estimations from the RCS formalism were clearly unrealistic. The entire task field was only 6 degrees. The width of one numeral was about 26 min. of arc; the task detail would presumably be smaller than this.

Puisqu'on avait défini clairement, pour cette expérience, tous les termes sauf le diamètre des détails de la tâche, d, de l'équation 1(b), on a utilisé, pour trouver d, les valeurs estimatives de S pour chacune des quatre fonctions au seuil de détection. On a déterminé les valeurs estimatives de d pour les quatre fonctions; ces valeurs sont présentées au tableau I. Les estimations obtenues à partir de la formule RCS étaient nettement irréalistes. Le champ de la tâche, dans son ensemble, n'était que de 6 degrés. La largeur d'un chiffre était d'environ 26 minutes d'arc; un détail de la tâche serait en principe encore plus réduit.

Stimulus	Viewing Conditions/ Conditions de vision	Estimated Value of d in Degrees (eq. 1b)/ Valeur estimative de d en degrés (éq. 1b) 20-30 Years/ 20-30 ans	31 Years*/ 31 ans*
Face/Visage	steady/fixe	51.4	71.4
	2.5 Hz	6.1	6.5
Number/Chiffre	steady/fixe	11.8	18.7
	2.5 Hz	2.9	3.4

Table 1: Estimates of task detail sizes from formalisms in CIE 19/2.1

Tableau 1: Estimations des grandeurs des détails de tâche fournies par les formulations de CIE 19/2.1

* One subject had just turned 31 years of age. This column represents the upper extreme age of the subject population. Note that the estimate of d is worse (larger) for this extreme.

* Un sujet venait tout juste d'avoir 31 ans. Cette colonne représente l'extrême d'âge supérieur de la population étudiée. Notons que la valeur estimative de d est moins bonne (plus grande) pour cet extrême.

Based upon these data, then, one must conclude that although a good fit to detection threshold data can be achieved by the RCS formalism, the task detail term does not have any real significance. It has not been investigated, but a similar check of the other terms in the RCS formalism may lead to the conclusion that they have no significance either. The RCS algorithm may therefore be merely a collection of free parameters required to fit various threshold data sets; from this examination at least, task detail, d, is a free parameter of this type.

De ces données, on doit tirer la conclusion que, si la formulation RCS permet une bonne approximation des données au seuil de détection, le terme "détail de la tâche" n'a aucune signification réelle. Bien que cela n'ait pas encore été examiné, il se peut fort bien qu'une vérification semblable des autres termes de la formulation RCS permette de conclure que ces termes-là n'ont, eux non plus, aucune signification. Il se peut donc que l'algorithme RCS soit uniquement un ensemble de paramètres libres, nécessaires pour présenter la courbe de divers ensembles de données liminales; d'après cette étude au moins, le détail d de la tâche est un paramètre libre de ce type.

Use of RCS functions at equalvisibility levels above detection threshold

Emploi des fonctions RCS à des niveaux d'équivisibilité au-dessus du seuil de détection

The preceding discussion has centred upon the RCS function and threshold evaluations of complex stimuli of different spatial frequencies. All of the fundamental psychophysical measurements in the CIE system used to predict suprathreshold visual performance are made at detection threshold. The spatial frequency sensitivity measurements made by Kelly (1977) and others have also been at low threshold levels. Only recently have investigators been interested in possible non-linearities in the spatial frequency channels between detection threshold and higher visibility levels (e.g., Ginsburg 1980). Because most realistic tasks are seen at suprathreshold contrasts, it remains to be demonstrated that suprathreshold response functions can be related **a priori** to threshold measurements. The justification for the last statement, despite claims in CIE 19/2.1, is that various factors in the CIE system may be like task detail d. That is, they may only be free, curve-fitting parameters with no visual significance. If a truly analytic model for predicting suprathreshold visual performance is desired, then clearly the model's link with fundamental visual processing must be demonstrated. In this section, then, the relation between threshold and suprathreshold visibility will

Nous venons de voir la fonction RCS et les évaluations liminales de stimuli complexes à des fréquences spatiales différentes. Toutes les mesures psycho-physiques fondamentales utilisées, dans le système CIE, pour prévoir la performance visuelle supraliminale, se font au seuil de détection. Les mesures faites par Kelly (1977) et d'autres chercheurs en ce qui concerne la sensibilité aux fréquences spatiales ont été, elles aussi, effectuées à des niveaux de seuil peu élevés. Ce n'est que récemment que les chercheurs se sont intéressés aux éventuelles non linéarités des canaux de fréquences spatiales, entre le seuil de détection et les niveaux de visibilité plus élevés (par exemple Ginsburg 1980). Étant donné que la plupart des tâches réalistes sont visionnées à un contraste supraliminal, il faut encore démontrer que les fonctions de réponse supraliminale peuvent être reliées **a priori** aux mesures au seuil. Ce qui justifie ce dernier énoncé, malgré certaines affirmations de la publication CIE 19/2.1, c'est qu'il se peut que certains facteurs dans le système CIE soient, comme le diamètre d des détails de la tâche, seulement des paramètres libres d'adaptation de la courbe, sans aucune signification visuelle. Si l'on veut avoir un modèle véritablement analytique pour prévoir la performance

be examined, as well as the suitability of CIE 19/2.1 for relating these levels.

Data from eight young adult subjects (mean age = 21 years) were collected in the laboratory for a suprathreshold visual task, the comparison of two number lists. Both time and errors (misses and false positives) were measured in response to experimental manipulation of adaptation luminance and contrast. All dependent measures varied in nearly identical fashion with the two experimental manipulations. As in previous study (Rea 1981), they were combined in an arbitrary performance score* that monotonically increased with contrast and luminance. Care was taken in the preparation and execution of the experiment to eliminate or balance out non-visual factors that could affect subjects' behavioural responses. Importantly, the data closely resembled those recorded electrophysiologically (Naka and Rushton 1966 (a, b); Boynton and Whitten 1970; Fulton and Rushton 1978) to suprathreshold stimuli. The results of the experiment are shown by a three-dimensional figure (Figure 6). Here luminance and contrast are the two independent variable axes and performance score is the dependent axis. A two-dimensional perspective of this "space" is shown in Figure 7.

visuelle supraliminale, il va de soi qu'il faudra démontrer le lien entre le modèle et le traitement visuel fondamental. Nous examinons donc dans cette section la relation entre la visibilité liminale et supraliminale, ainsi que l'aptitude du modèle CIE 19/2.1 à faire le lien entre ces niveaux.

On a recueilli au laboratoire des données relatives à huit jeune adultes (âge moyen = 21 ans), pour une tâche visuelle supraliminale (comparaison de deux listes de chiffres). On a mesuré le temps et les erreurs (tant les omissions que les fausse équivalences) en fonction de la manipulation expérimentale du contraste et de la luminance d'adaptation. Toutes les mesures dépendantes ont varié de façon quasi identique en fonction des deux manipulations expérimentales. Comme dans une étude précédente (Rea 1981), on les a combinées dans un score de performance arbitraire* qui augmentait de façon monotone avec le contraste et la luminance. Lors de l'élaboration et de l'exécution de l'expérience, on a pris soin d'éliminer ou de compenser les facteurs non visuels qui risquaient d'affecter la réaction du comportement des sujets. Fait important: les données ressemblent étroitement à celles enregistrées électrophysiologiquement (Naka et Rushton 1966 (a, b); Boynton et Whitten 1970; Fulton et Rushton 1978) à des stimuli supraliminaux. Les résultats de l'expérience sont indiqués dans une figure tridimensionnelle (figure 6). Ici, la luminance et le contraste sont les deux axes de variables indépendantes, tandis que le score de performance est l'axe dépendant. La figure 7 montre une perspective bidimensionnelle de cet "espace".

---

* $\text{Score} = \frac{(T-E)\,100}{S+5}$

where T = total number of comparisons per trial (20),

E = number of errors, both misses and false positives, committed per trial,

S = time to complete comparisons per trial (in sec).

---

* $\text{Score} = \frac{(T-E)\,100}{S+5}$

où T = nombre total de comparaisons par essai (20),

E = nombre d'erreurs (tant omissions que fausses équivalences) commises par essai,

S = temps nécessaire pour compléter les comparaisons, par essai (en secondes).

As mentioned in Section 2.0, threshold data were also collected for the same stimuli, five-digit numerals. In any threshold experiment subjects adopt a constant criterion; stimuli that reach that criterion are, by definition of threshold, "equally visible". In the present experiment a contrast was found that reached the "just detectable" criterion for each adaptation luminance. Similarly, contrasts were obtained that reached the "just readable" criterion. Equalvisibility threshold function for the two criteria are shown in Figure 8. (The just detectable curve is the same as that in Figure 2 for numbers viewed steadily.)

Tel que mentionné à la section 2.0, on a également recueilli des données liminales pour les même stimuli (nombres de cinq chiffres). Dans n'importe quel test liminal, les sujets adoptent un critère constant; les stimuli qui satisfont à ce critère sont, de par la définition même du seuil, "également visibles". Dans cette expérience, on a trouvé un contraste qui satisfaisait au critère "tout juste détectable" pour chaque luminance d'adaptation. De même, on a obtenu des contrastes qui satisfaisaient au critère "tout juste lisible". La figure 8 montre les fonctions d'équivisibilité liminale pour les deux critères. (La courbe "tout juste détectable" est la même que celle des "chiffres regardés fixement", à la figure 2.)

In the suprathreshold experiment, performance score was recorded as luminance and contrast were varied. With these data it is possible, **as an investigator**, to adopt a fixed criterion score in the suprathreshold space (Figure 6). Each constant criterion chosen represents a plane through this space perpendicular to the performance axis. Such a plane defines a luminance versus contrast "threshold" or equalvisibility curve. Any number of these constant-criterion or threshold curves can be generated from this space.

Dans l'expérience supraliminaire, on a noté le score (ou indice) de performance à mesure que l'on faisait varier la luminance et le contraste. Grâce à ces données, il devient possible, **en tant qu'enquêteur**, d'adopter un indice-critère fixe dans l'espace supraliminal (figure 6). Chaque critère constant choisi représente un plan à travers cet espace, perpendiculaire à l'axe de performance. Ce plan définit une courbe de luminance en fonction du seuil de contraste ou d'équivisibilité. À partir de cet espace, on peut créer un nombre quelconque de telles courbes de seuil ou à critère constant.

In Figure 9 the derived equalvisibility curves obtained from the suprathreshold space in Figure 6 are plotted with the directly measured equalvisibility functions obtained from the threshold experiment in Figure 8. By a least squares criterion the just readable threshold curve and a derived equalvisibility curve of 0.83 are nearly the same function.

À la figure 9, les courbes d'équivisibilité dérivée, obtenues à partir de l'espace supraliminal de la figure 6, sont tracées avec les fonctions d'équivisibilité mesurées directement, obtenues lors de l'expérience liminale de la figure 8. Selon un critère des moindres carrés, la courbe liminale "tout juste lisible" et une courbe d'équivisibilité dérivée de 0,83 représentent presque exactement la même fonction.

In the CIE 19/2 system a "task demand" parameter, D, is introduced to apply to visibility levels above detection threshold (equation 1b'). Task demand depends upon factors (e.g., degree of informational content or time available to perform the task relative to the required accuracy) that would be difficult or impossible to relate to many visual performance experiments or to real work situations except by **post hoc** evaluation. In many situations **a priori** estimations of task demand level would only be guesses.

Dans le système proposé par la publication CIE 19/2, on introduit un paramètre D "d'exigence de la tâche", pour les niveaux de visibilité au-dessus du seuil de détection (liminal) (équation 1b'). Le degré d'exigence de la tâche dépend de facteurs (par exemple le degré de contenu informatif ou le temps disponible pour exécuter la tâche, relativement à la précision nécessaire) qu'il serait très difficile, voire même impossible, de relier à de nombreuses expériences de performance visuelle ou à des situations de travail réelles, sauf au moyen d'évaluations **post hoc**. Dans de nombreuses situations, une estimation **a priori** du niveau d'exigence de la tâche ne serait qu'une estimation très grossière.

As demonstrated in Figure 9, equalvisibility functions have different shapes at different criterion levels. Presumably, task demand level, D, can be manipulated to transform the detection threshold VRF to fit these curve shape changes. (D is a curve shape parameter included in parameter S, discussed in Section 2.0.) Comparisons of threshold and suprathreshold data presented in Figure 9 indicate, however, that concepts like task demand level are not necessary for understanding of the changes in curve shape with increased levels of equalvisibility.

Comme le montre la figure 9, les fonctions d'équivisibilité ont des formes différentes à des niveaux de critères différents. On pourrait supposer que le niveau D d'exigence de la tâche peut être manipulé afin de modifier la fonction de visibilité de référence VRF (détection liminale) pour s'accommoder de ces courbes à forme modifiée. (D est un paramètre de forme de courbe inclus au paramètre S examiné à la section 2.0.) Toutefois, lorsqu'on compare les données liminales et supraliminales présentées dans la figure 9, on constate que, pour comprendre les modifications de forme des courbes en fonction de l'augmentation des niveaux d'équivisibilité, il n'est guère nécessaire de disposer de concepts tels le niveau d'exigence de la tâche.

As noted, the suprathreshold equalvisibility lines (Figure 9) begin to deviate from parallel at successively higher constant criteria. The effect can perhaps best be appreciated by looking at Figure 7. At low, constant-relative-performance levels (i.e., for low equalvisibility lines) there is very little difference along the abscissa (i.e., contrast) for visual performance functions. Thus, the (log luminance versus log contrast) equalvisibility lines will be essentially parallel at these low criteria. At higher constant criteria the distance on the abscissa between visual performance functions becomes greater. Thus, a performance criterion of, say, 0.98 will never intersect a visual performance

Comme signalé antérieurement, les lignes d'équivisibilité supraliminale (figure 9) commencent à s'écarter du parallélisme lorsque les critères constants deviennent de plus en plus élevés. On peut facilement constater cet effet en examinant la figure 7. À des niveaux constants peu élevés de performance relative (c.-à-d. pour les lignes de basse équivisibilité), il y a très peu de différence le long de l'abscisse (contraste) pour les fonctions de performance visuelle. Ainsi, les lignes d'équivisibilité (luminance log en fonction du contraste log) seront essentiellement parallèles, pour ces critères bas. Pour des critères constants plus élevés, les fonctions de performance visuelle s'écartent

function below an adaptation level of about 12 $cd \cdot m^{-2}$. Consequently, the high constant criterion curves in Figure 9 will go to infinity at the lower adaptation levels.

The relation between threshold and suprathreshold, therefore, is simple and direct. Threshold equalvisibility curves are constant-criterion planes in suprathreshold space. Concepts like task demand level do not have to be invoked to explain the transition from detection threshold to higher criterion equalvisibility levels (e.g., readability). Rather, the changes in equalvisibility line shape from the lowest criterion to higher ones is a natural consequence of visual performance functions saturating sooner at lower adaptation luminances (Figure 7). Because the RCS functions incorporate task demand level to accommodate curve shape changes in the equal visibility lines, they cannot be regarded as more than convenient, yet arbitrary, descriptions of equalvisibility lines higher than detection threshold. D then is a free, curve-fitting parameter, not an analytic one.

davantage l'une de l'autre, le long de l'abscisse. Un critère de performance de, disons, 0,98 n'intersectera donc jamais une fonction de performance visuelle en-dessous d'un niveau d'adaptation d'environ 12 $cd \cdot m^{-2}$. Par conséquent, les courbes à critère constant élevé de la figure 9 iront jusqu'à l'infini, aux niveaux d'adaptation inférieurs.

La relation entre "liminal" et "supraliminal" est donc simple et directe. Les courbes d'équivisibilité liminale sont des plans à critère constant dans l'espace supraliminal. On n'a pas à invoquer des concepts tels le niveau d'exigence de la tâche afin d'expliquer le passage du seuil de détection à des niveaux d'équivisibilité selon des critères plus élevés (par exemple la lisibilité). La modification de forme des lignes d'équivisibilité lorsqu'on passe du critère le plus bas à des critères plus élevés est donc une conséquence naturelle du fait que les fonctions de performance visuelle atteignent la saturation plus rapidement aux luminances d'adaptation inférieures (figure 7). Vu que les fonctions RCS tiennent compte du niveau d'exigence de la tâche afin de s'accommoder des changements de forme des courbes, pour ce qui est des lignes d'équivisibilité, on doit considérer ces fonctions comme étant tout simplement des descriptions faciles mais arbitraires des lignes d'équivisibilité supérieures au seuil de détection. D est alors un paramètre libre d'adaptation à la courbe, et non pas un paramètre analytique.

Conclusions

The RCS curve is used in CIE 19/2.1 to fit visual performance data sets. Because the various data sets were successfully fitted, it is argued that the RCS function is a general description of human contrast sensitivity. These successful curve fits do not, however, support the hypothesis that the RCS function is a general curve. Through the use of at least two free parameters unrelated to stimuli or visual factors the RCS function can be altered to fit a set of data. In principle, nearly any function could have been used to make these successful curve fits. As such, the RCS curve must be regarded as an arbitrary function and not one of any special significance.

This has significant impact on lighting application. Lighting installations designed with the formalisms of CIE 19/2.1 have no guarantee that they will meet the needs of occupants, because the formalisms are based upon a limited set of data and some invalid free parameters. No one knows whether the needs of occupants will be estimated correctly with CIE 19/2.1 because this aspect has not been seriously examined. The formalisms in CIE 19/2.1 would, however, probably give a qualitatively accurate picture of visual performance in the field. CIE 19/2.1 takes into account observer age, disability glare, veiling reflections and other important factors. The qualitative pictures provided by various illuminating engineering societies (IESNA, LD - CIBS) may, however, be no less accurate in meeting the needs of occupants. They also consider factors that are important to vision and visual performance. The mere fact that numbers with four significant figures are used in CIE 19/2.1 should not, in itself, justify the use of those numbers in lighting recommendations or codes. Less optimistic approaches, characterized by society recommendations, seem more commensurate with present knowledge of visual performance in the field. This is **not** to say that an analytic

Conclusions

Dans CIE 19/2.1, on utilise la courbe RCS pour représenter des ensembles de données de performance visuelle. Vu que l'on a réussi à représenter les divers ensembles de données, on prétend que la fonction RCS est une description générale de la sensibilité différentielle humaine. Cependant, ces représentations réussies par les courbes ne vérifient pas l'hypothèse que la fonction RCS serait une courbe générale. En effet, en utilisant au moins deux paramètres libres sans aucun rapport à des stimuli ou à des facteurs visuels, on peut modifier la fonction RCS afin qu'elle représente un ensemble de données. En principe, on aurait pu utiliser pratiquement n'importe quelle fonction pour réaliser ces mêmes adaptations réussies des courbes. On doit donc considérer que la courbe RCS est une fonction arbitraire qui n'a aucune signification spéciale.

Ce fait a une influence significative sur les applications concernant l'éclairage. Les installations d'éclairage conçues selon les formulations de CIE 19/2.1 n'offrent aucune garantie qu'elles répondront aux besoins des occupants, puisque les formulations sont basées sur un ensemble de données limité et sur certains paramètres libres non valides. Personne ne sait si CIE 19/2.1 permet d'évaluer correctement les besoins des occupants, puisque cet aspect n'a fait l'objet d'aucun examen sérieux. Cependant, les formulations de CIE 19/2.1 permettraient probablement de se faire une idée qualitativement exacte de la performance visuelle sur le terrain. CIE 19/2.1 tient compte de l'âge de l'observateur, de l'éblouissement perturbateur, des réflexions de voile et d'autres facteurs importants. L'aperçu qualitatif fourni par diverses sociétés d'éclairage (IESNA, LD - CIBS) n'est peut-être pas moins exact lorsqu'il s'agit de répondre aux besoins des occupants. De plus, ces aperçus tiennent compte de facteurs qui sont importants pour la vision et la performance visuelle. Le simple fait que dans CIE 19/2.1 on utilise des nombres ayant quatre décimales ne devrait pas en soi justifier l'utilisation de ces nombres dans les recommandations ou les codes d'éclairage. Des approches moins

model should not be the ultimate goal of lighting design; rather it is to suggest that CIE 19/2.1 does not yet merit the status of an analytic model and should not therefore be used as one.

optimistes, fondées sur les recommandations des diverses sociétés, sembleraient plus cohérentes avec nos connaissances actuelles sur la performance visuelle effective. Ce que nous voulons dire par là, **n'est pas** qu'un modèle analytique ne devrait pas représenter le but ultime de la conception d'éclairage; nous voulons plutôt suggérer que CIE 19/2.1 ne mérite pas encore le statut de modèle analytique et que l'on ne devrait donc pas l'utiliser comme tel.

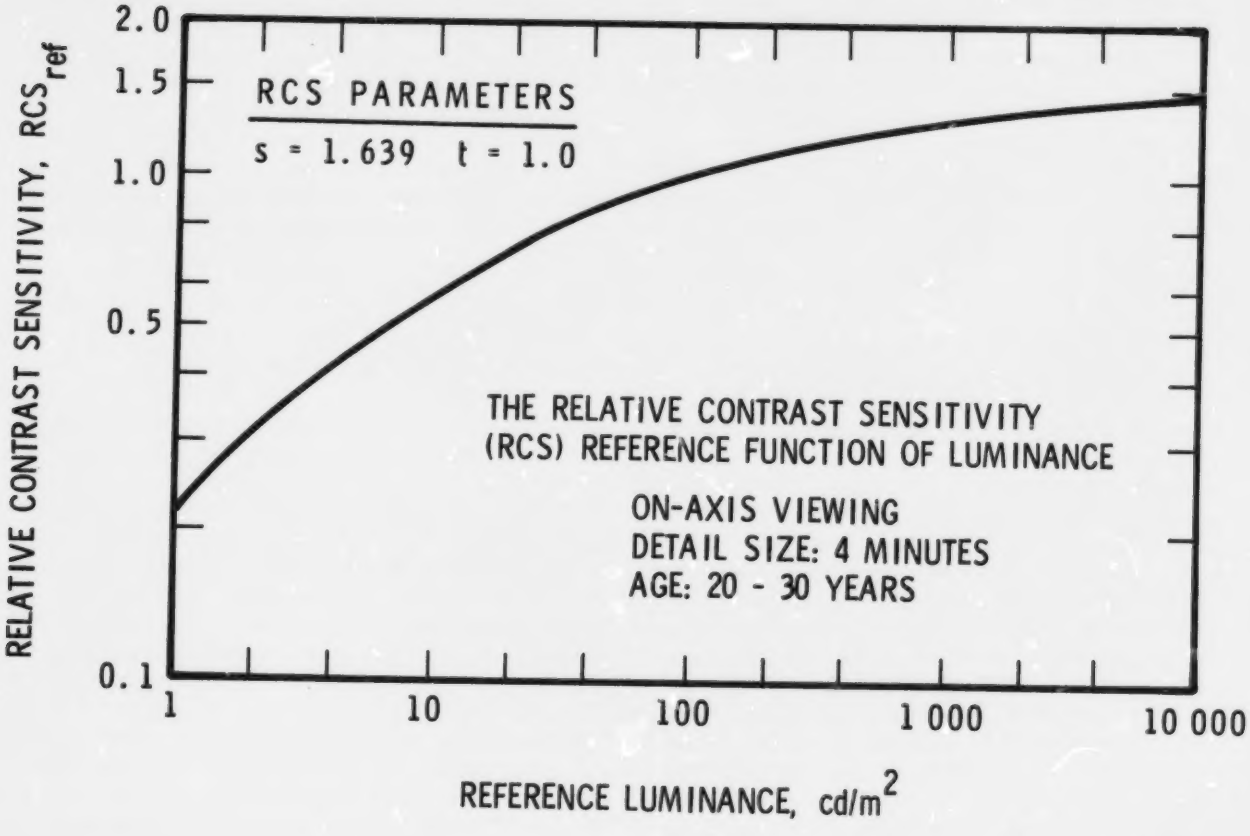


Figure 1

The relative contrast sensitivity, RCS, reference function of luminance, derived from the visibility reference function (VRF) by setting RCS to unity at L_{ref} = 100 cd/m^2 (From CIE 19/2.1, 1981).

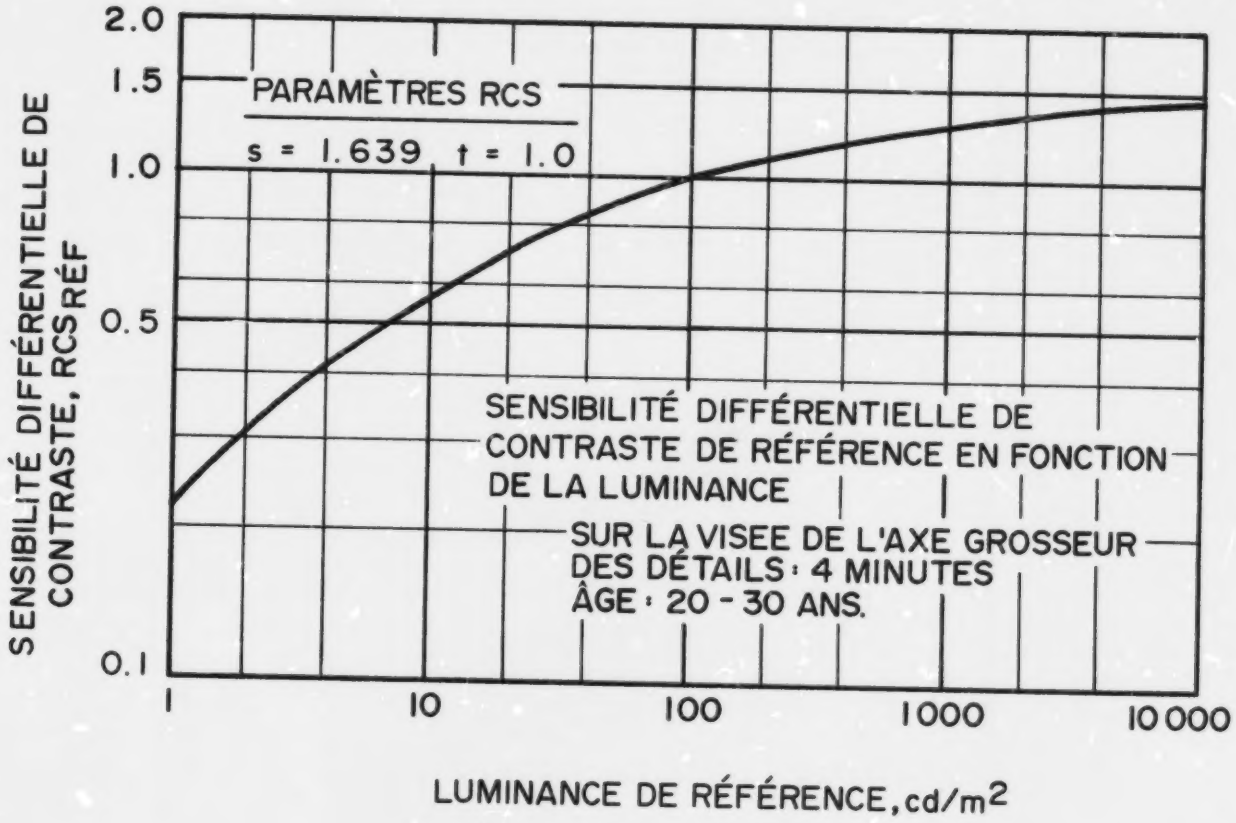


FIGURE I

Sensibilité différentielle relative (RCS), fonction de référence de la luminance, tirée de la fonction de visibilité de référence (VRF) en prenant RCS égale à 1 pour L_{ref} = 100 cd/m^2 (Tiré de CIE 19/2.1, 1981).

DETECTION OF NUMBERS

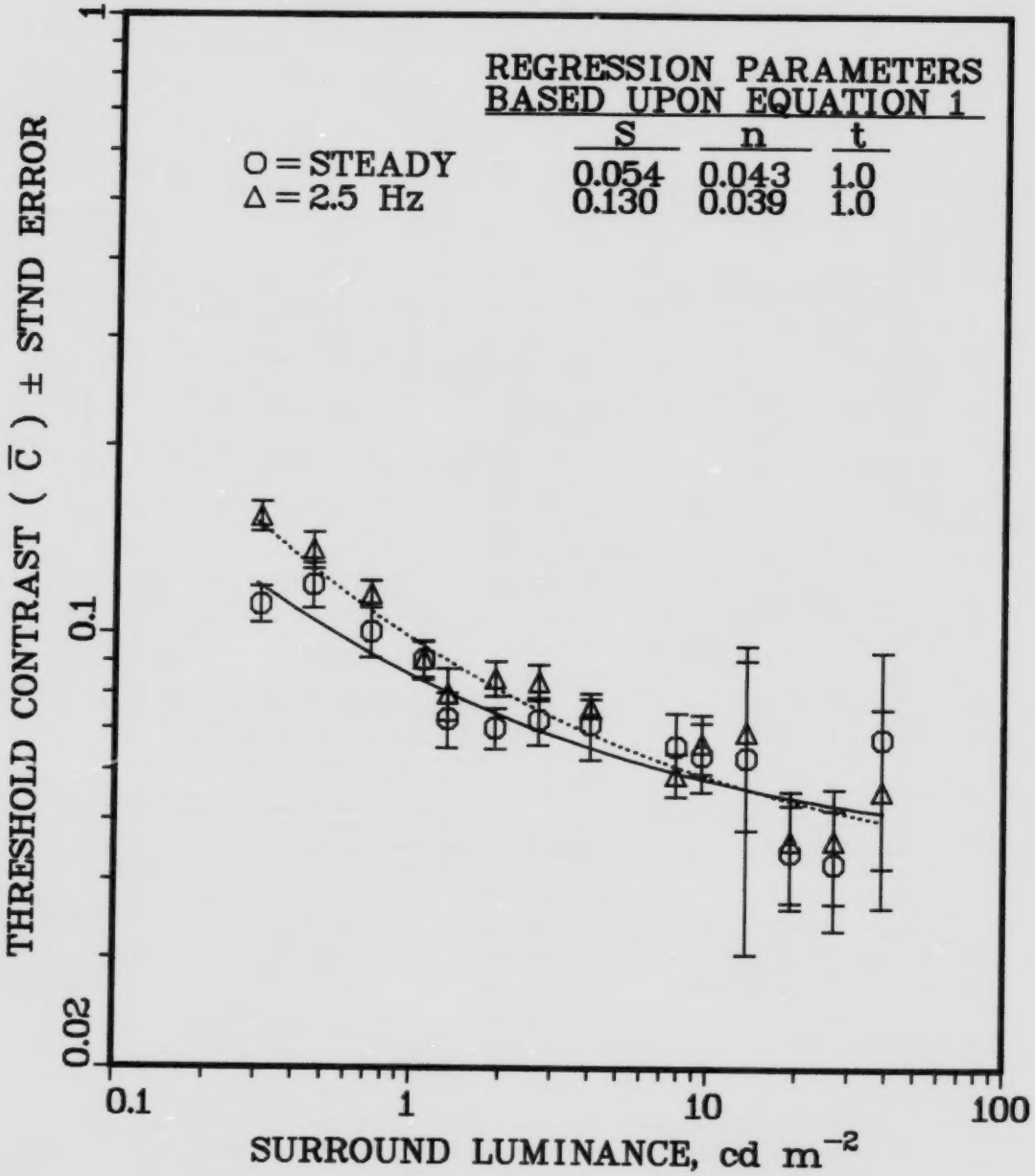


Figure 2

Detection threshold response functions for a set of numbers. The circles represent means for steady viewing conditions, and the triangles are for pulsed, 2.5 Hz, viewing conditions. Standard errors are larger for the four highest luminances because they are based upon a third less data. Stimuli were viewed through a Blackwell Visual Task Evaluator (VTE). VTE surround luminances, plotted on the abscissa, were brightness matched to the task field luminances. The ordinate indicates the absolute threshold contrast obtained through the VTE.

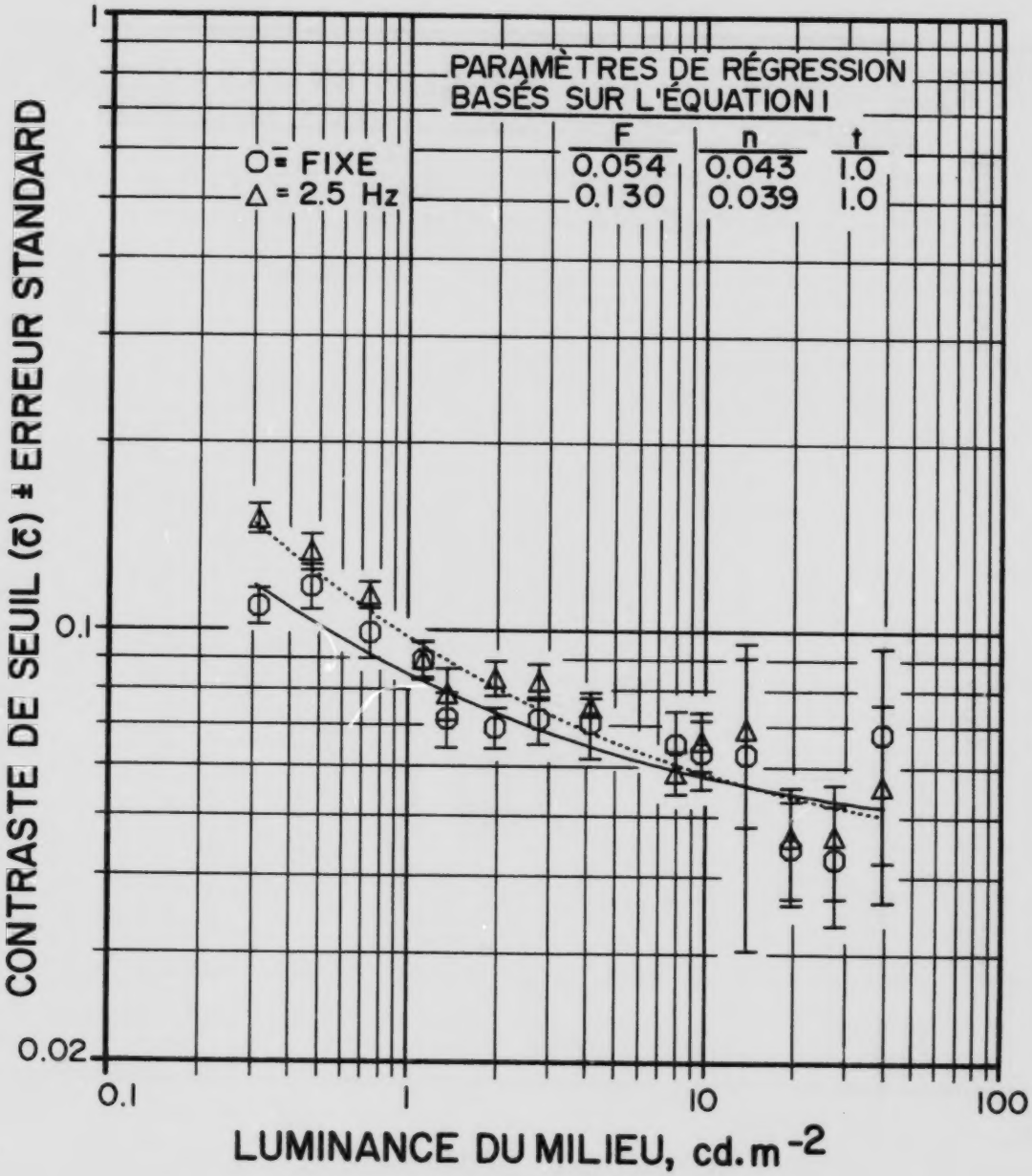


FIGURE 2

Fonctions, pour un ensemble de nombres, de la réaction au seuil de détection. Les cercles représentent des moyennes pour les conditions de vision fixes, tandis que les triangles représentent les conditions de vision pulsées (2,5 hz). Les écarts types sont plus importants pour les quatre luminances les plus fortes parce qu'ils sont basés sur une quantité de données plus réduite d'un tiers. Pour regarder les stimuli, on s'est servi d'un évaluateur Blackwell pour tâches visuelles (Visual Task Evaluator = VTE). Les luminances du champ périphérique VTE, tracées en abscisse, ont été associées (quant à leur luminosité), aux luminances du champ de la tâche. En ordonnée, on indique le contraste liminal absolu obtenu au moyen du VTE.

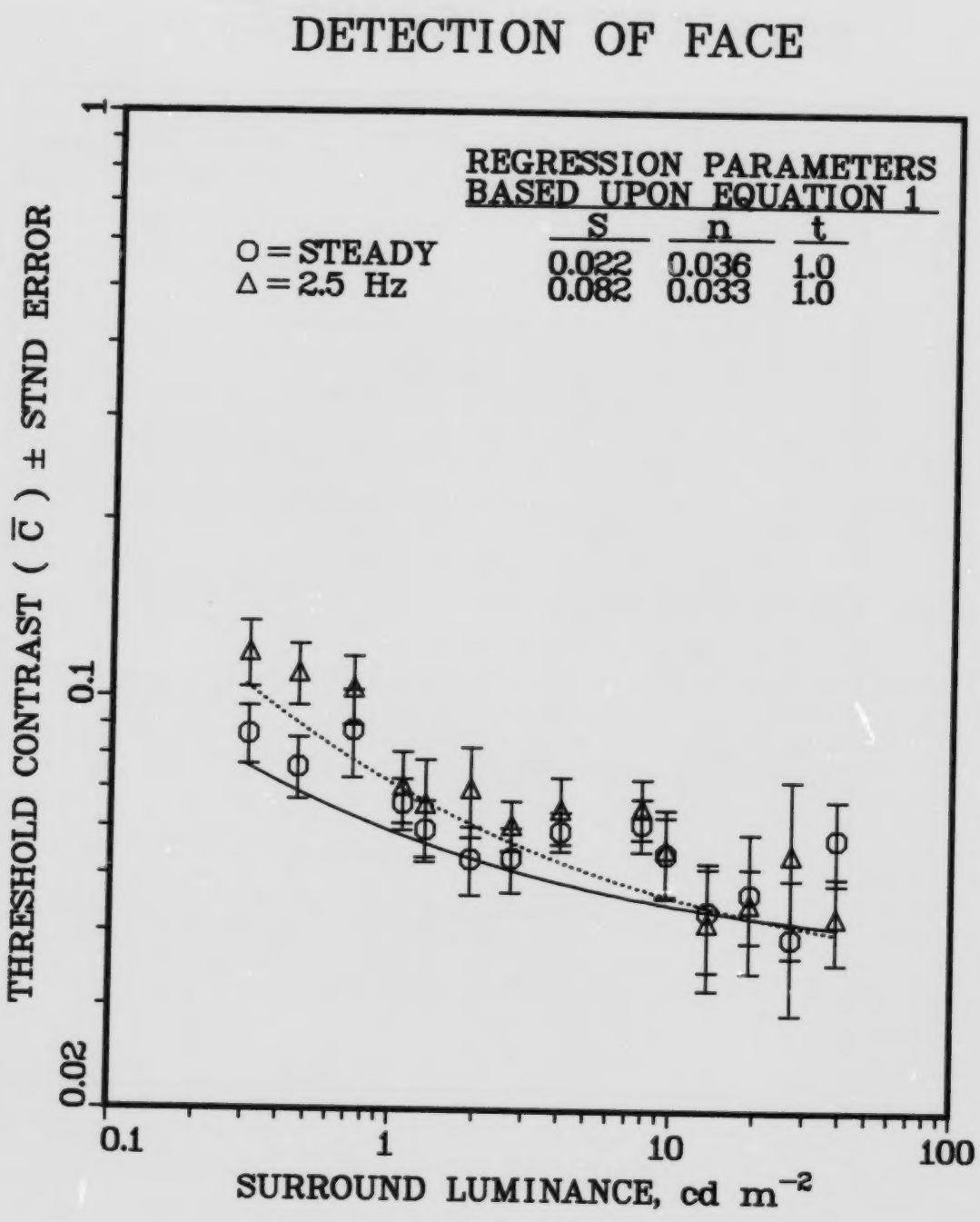


Figure 3

Detection threshold response functions for a face. All other conditions are identical to those for Figure 2.

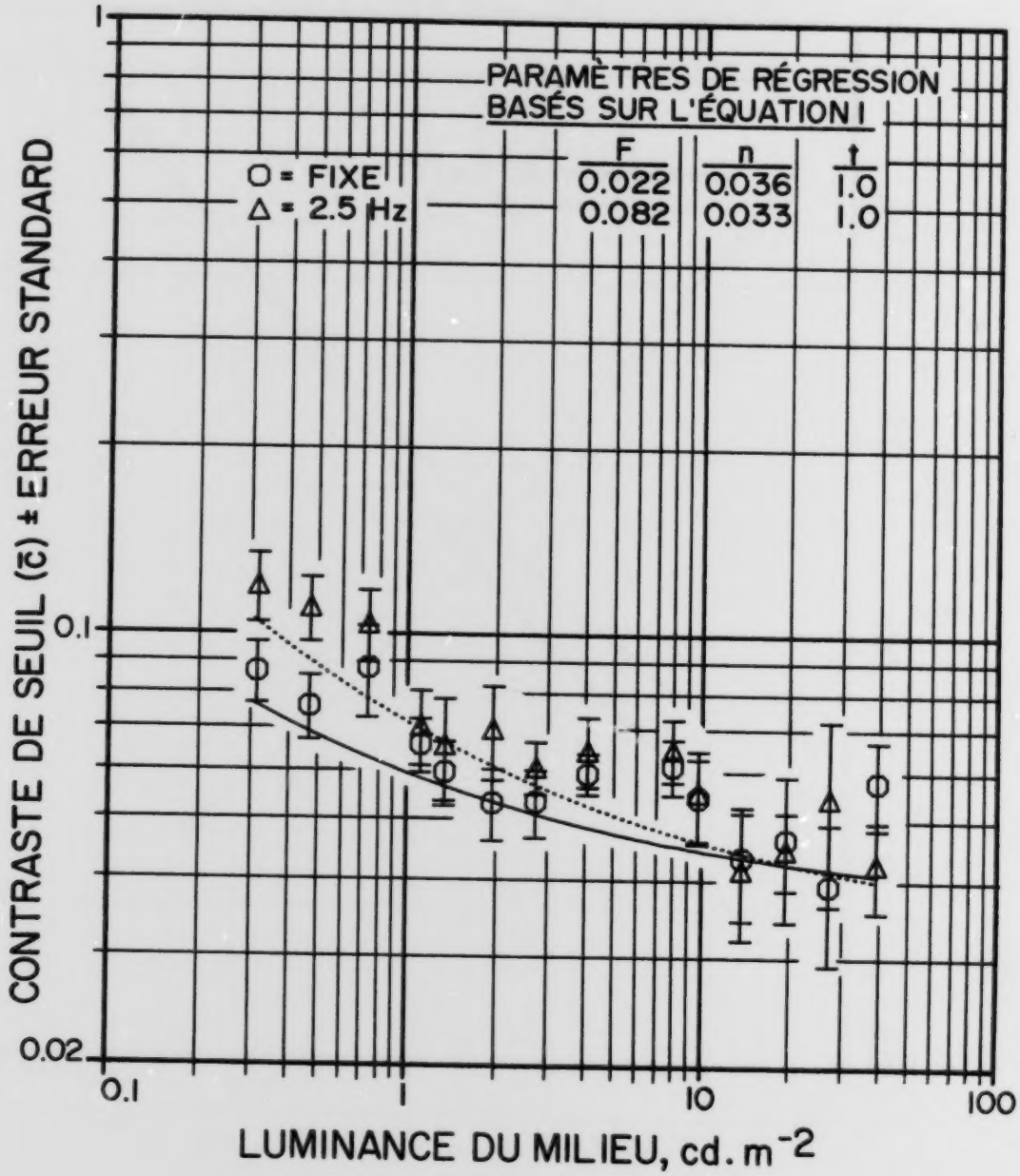


FIGURE 3

Fonctions de réaction de détection liminale, pour un visage. Toutes les autres conditions sont identiques à celles de la figure 2.

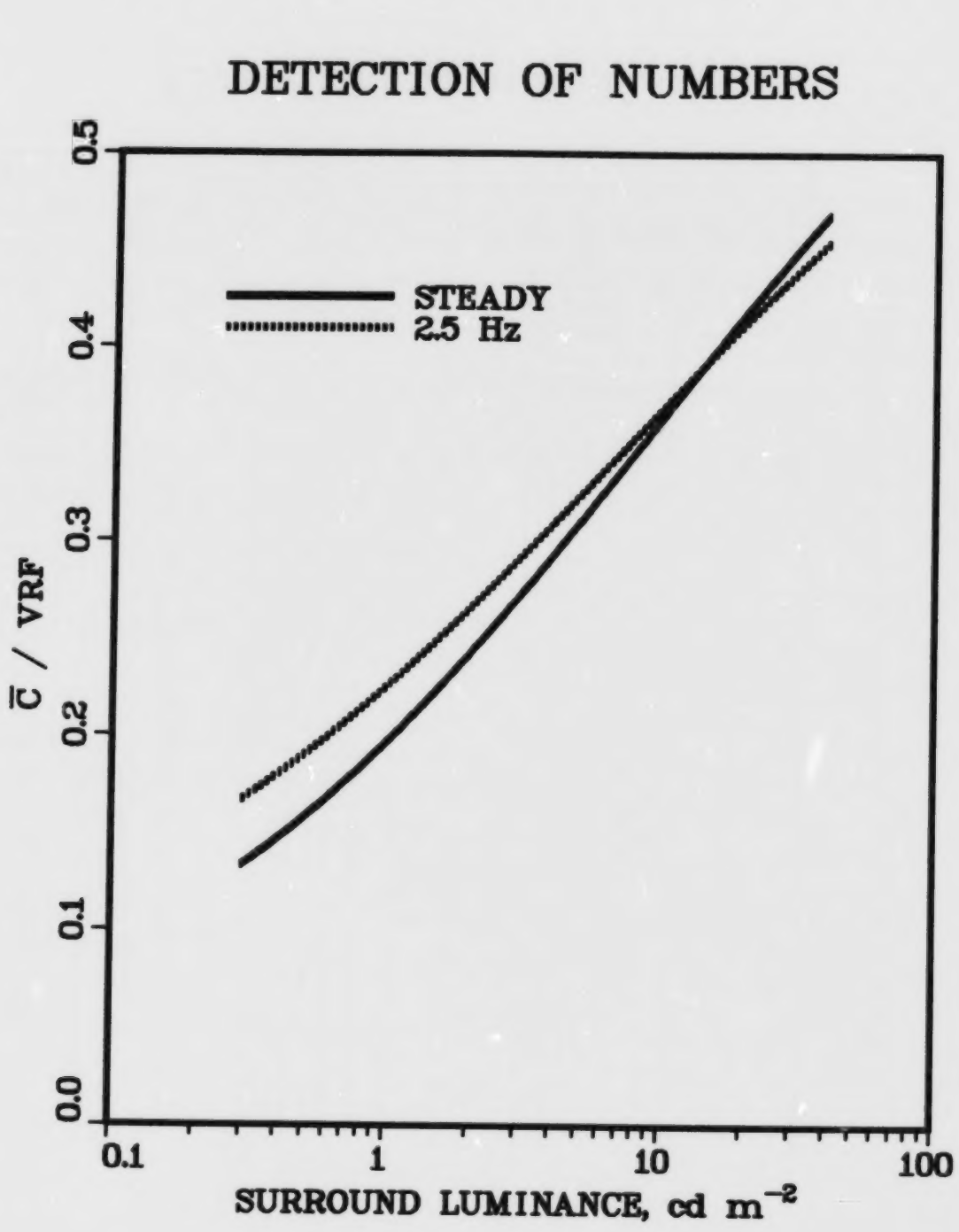


Figure 4

The ratio of the detection threshold ($\bar{C}$) functions in Figure 2 (numbers) to the standard Visibility Reference Function (VRF).

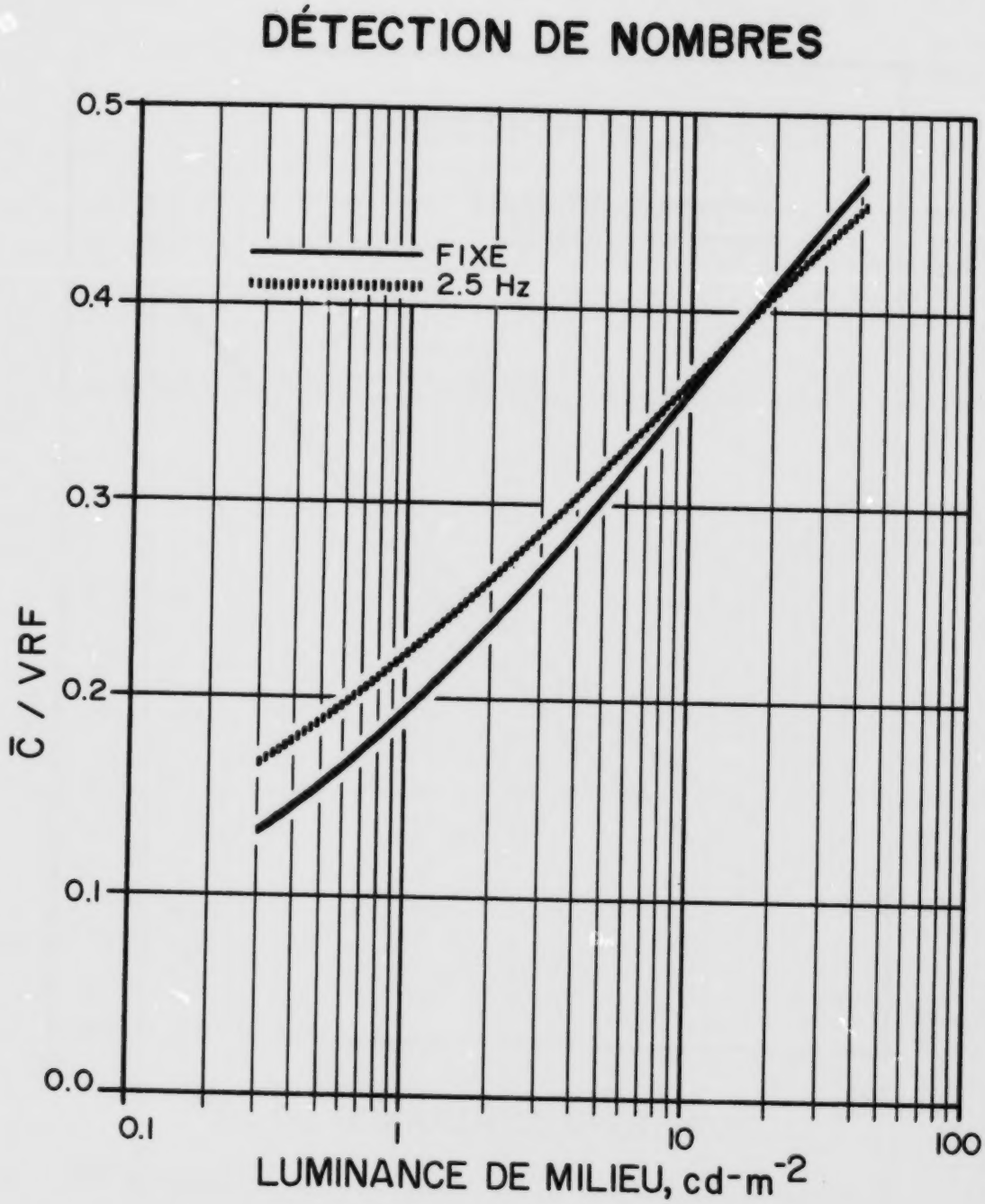


FIGURE 4

Rapport entre les fonctions de détection liminale ($\bar{C}$) de la figure 2 (nombres) et la fonction de visibilité de référence (VRF) standard.

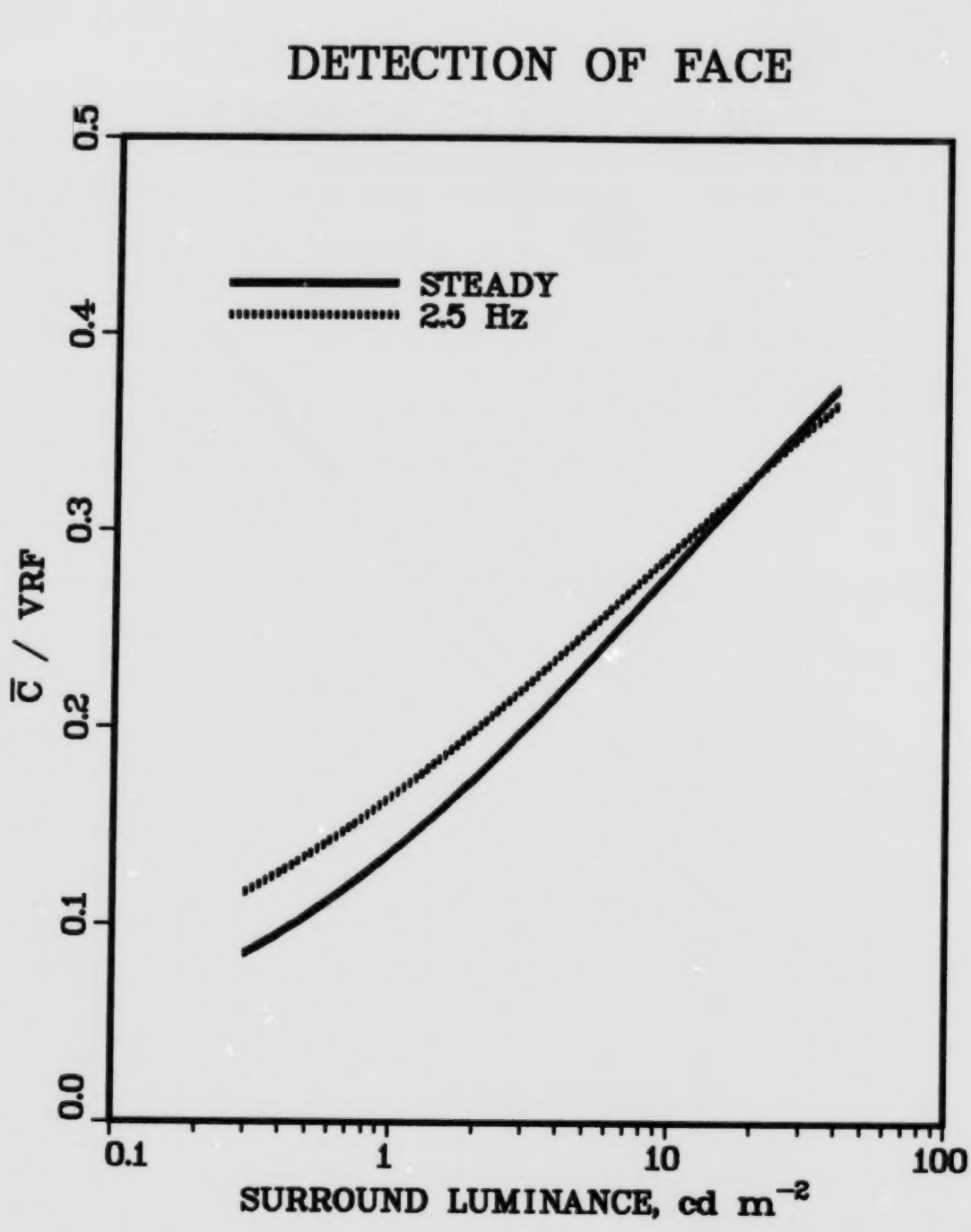


Figure 5

The ratio of the detection threshold ($\overline{C}$) functions in Figure 3 (face) to the standard Visibility Reference Function (VRF).

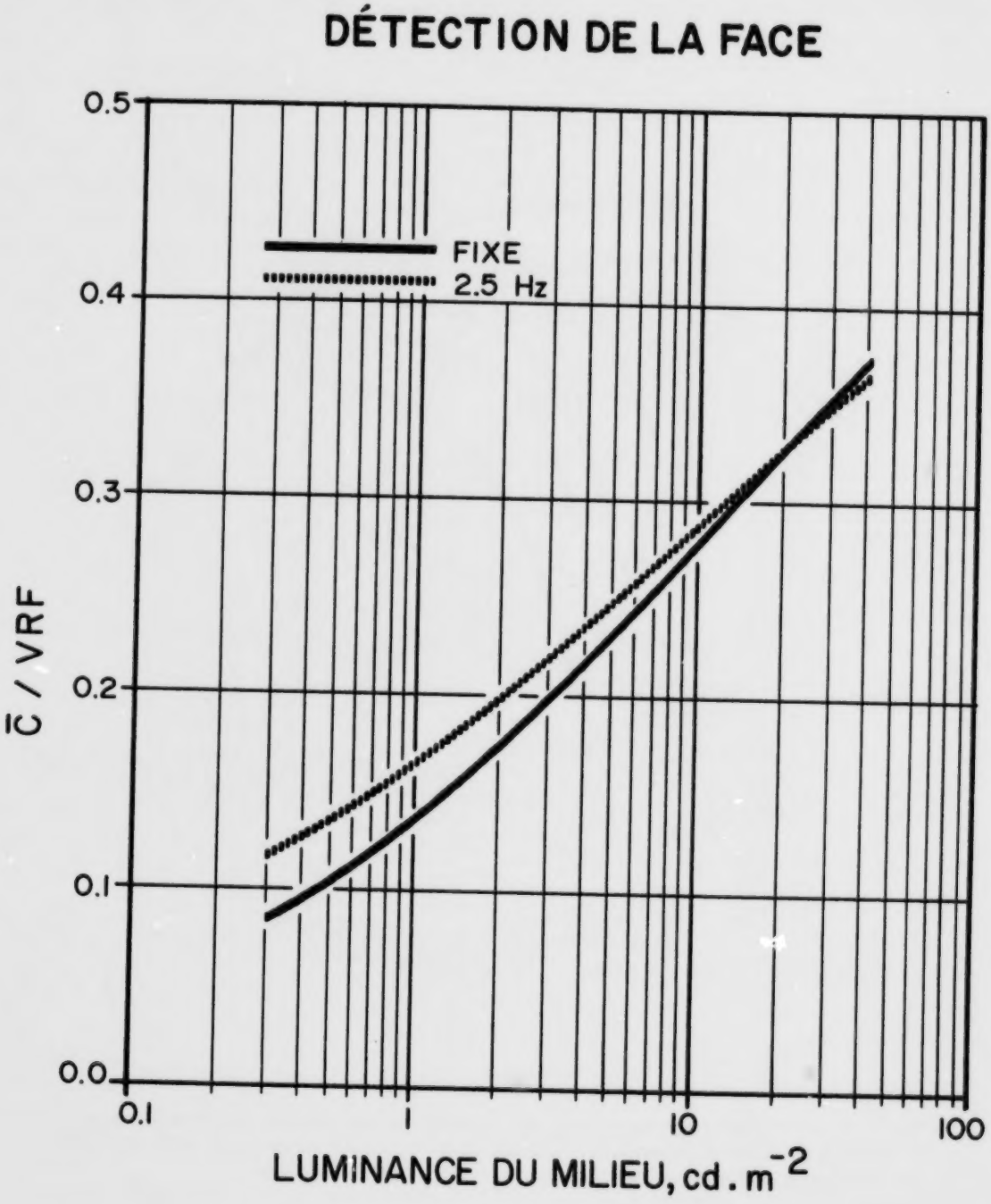


FIGURE 5

Rapport entre les fonctions de détection liminale ($\bar{C}$) de la figure 3 (visage) et la fonction de visibilité de référence (VRF) standard.

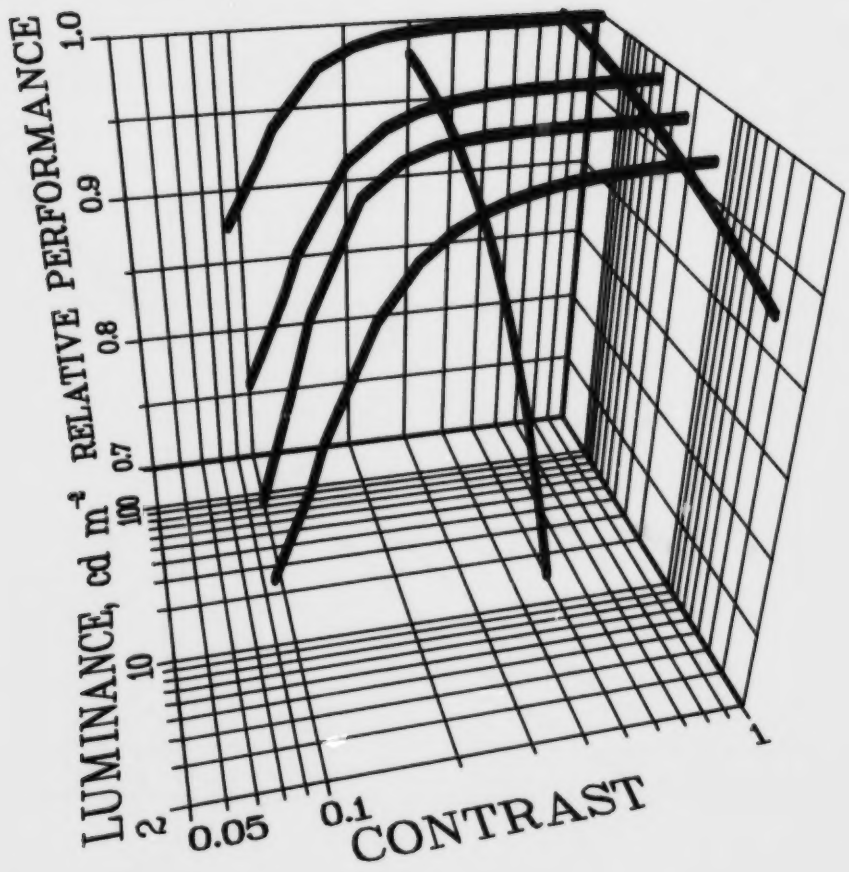


Figure 6

Three-dimensional representation of suprathreshold visual performance responses to numbers. The independent variables, background luminance and contrast, are the abscissae. The dependent variable, score, is the ordinate.

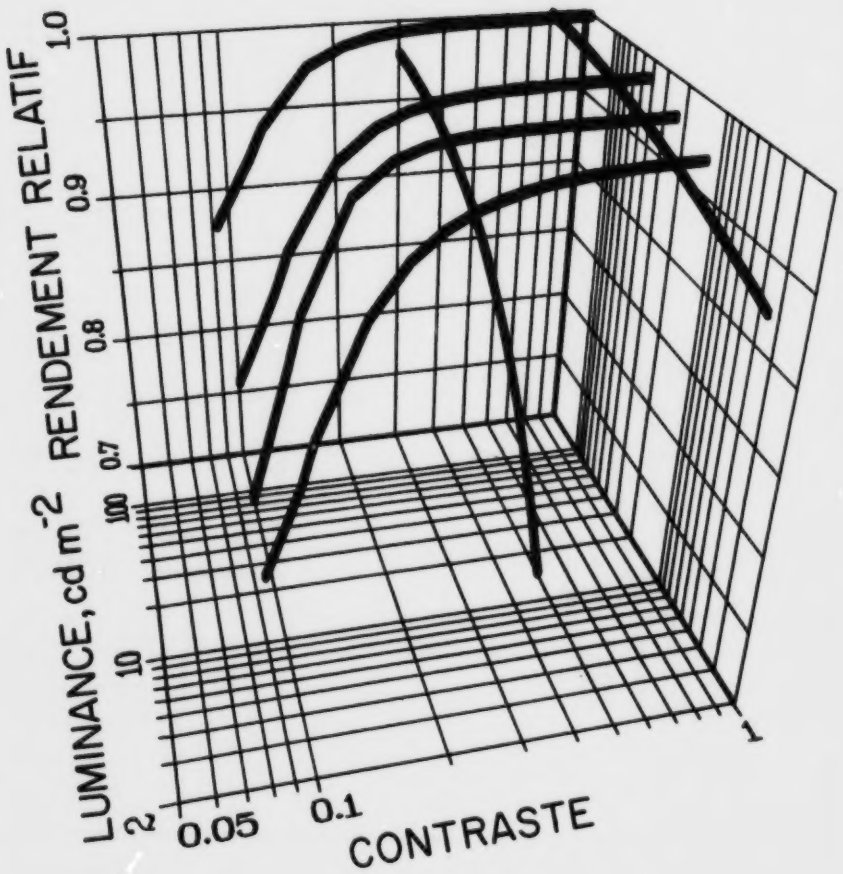


FIGURE 6

Représentation tridimensionnelle des réactions de performance visuelle supraliminale à des chiffres. Les variables indépendantes (le contraste et la luminance de fond) figurent en abscisse. La variable dépendante (le score ou l'indice) figure en ordonnée.

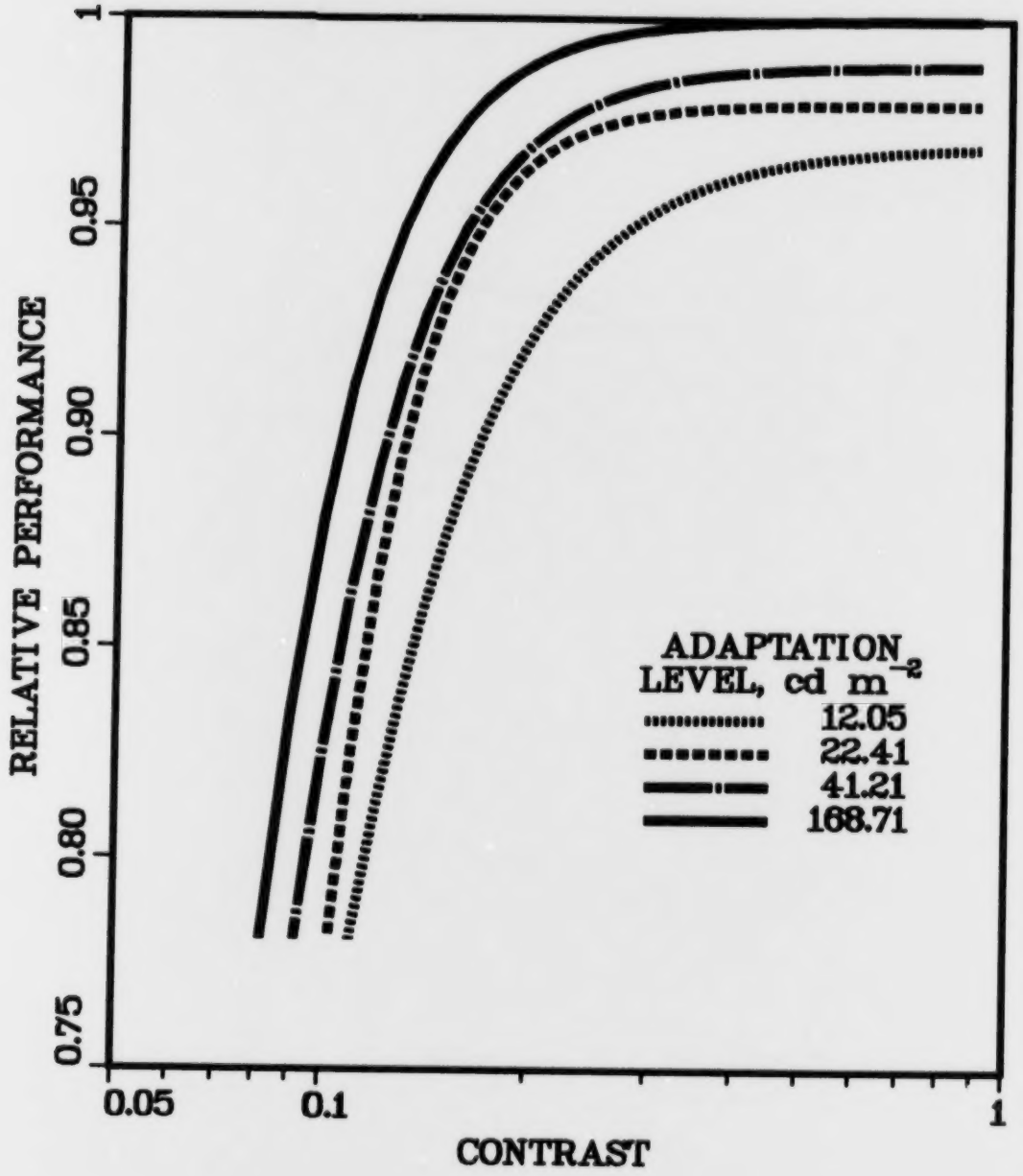


Figure 7

Two-dimensional representation of Figure 6.

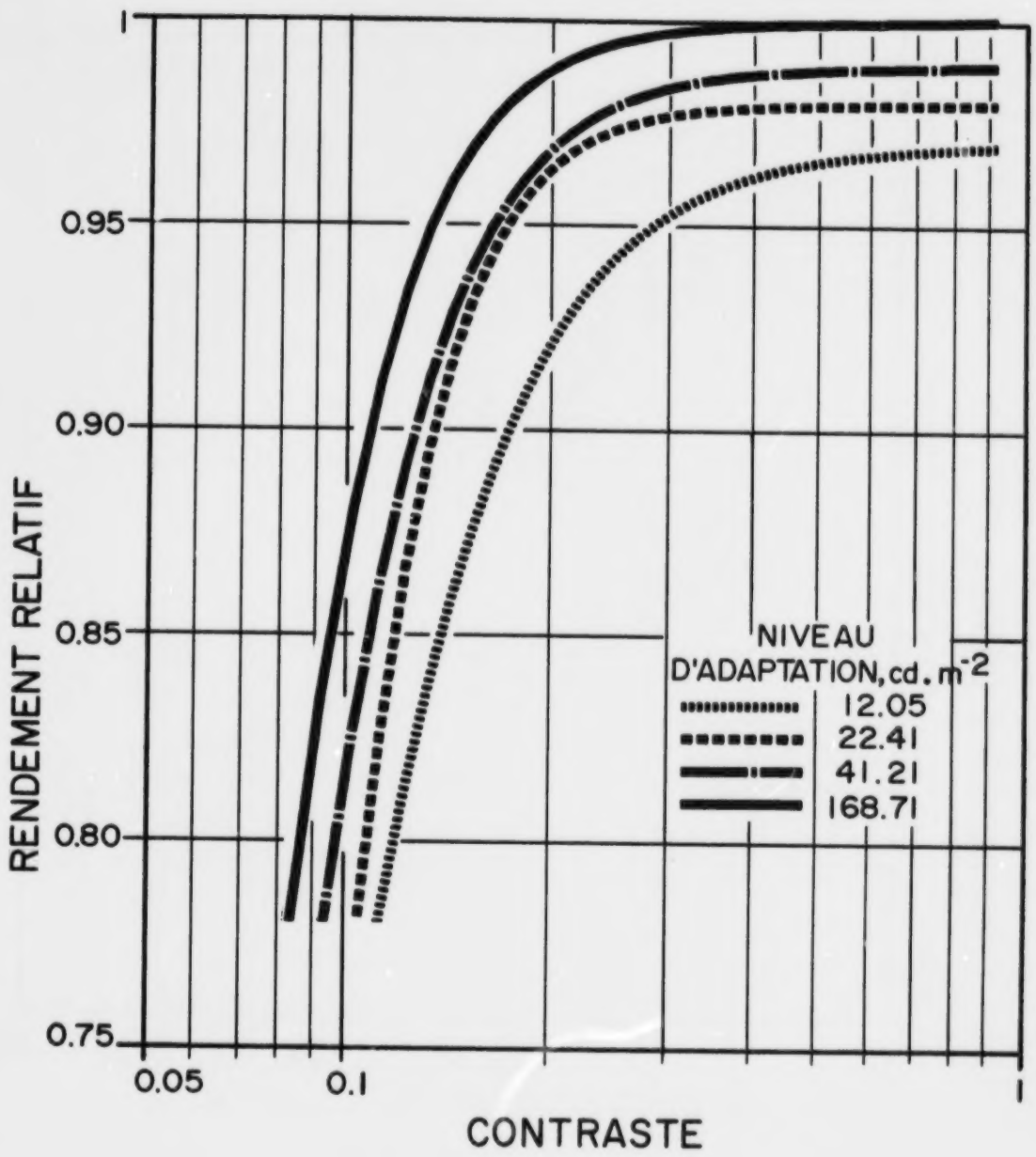


FIGURE 7

Représentation bidimensionnelle de la figure 6.

NUMBERS, STEADY

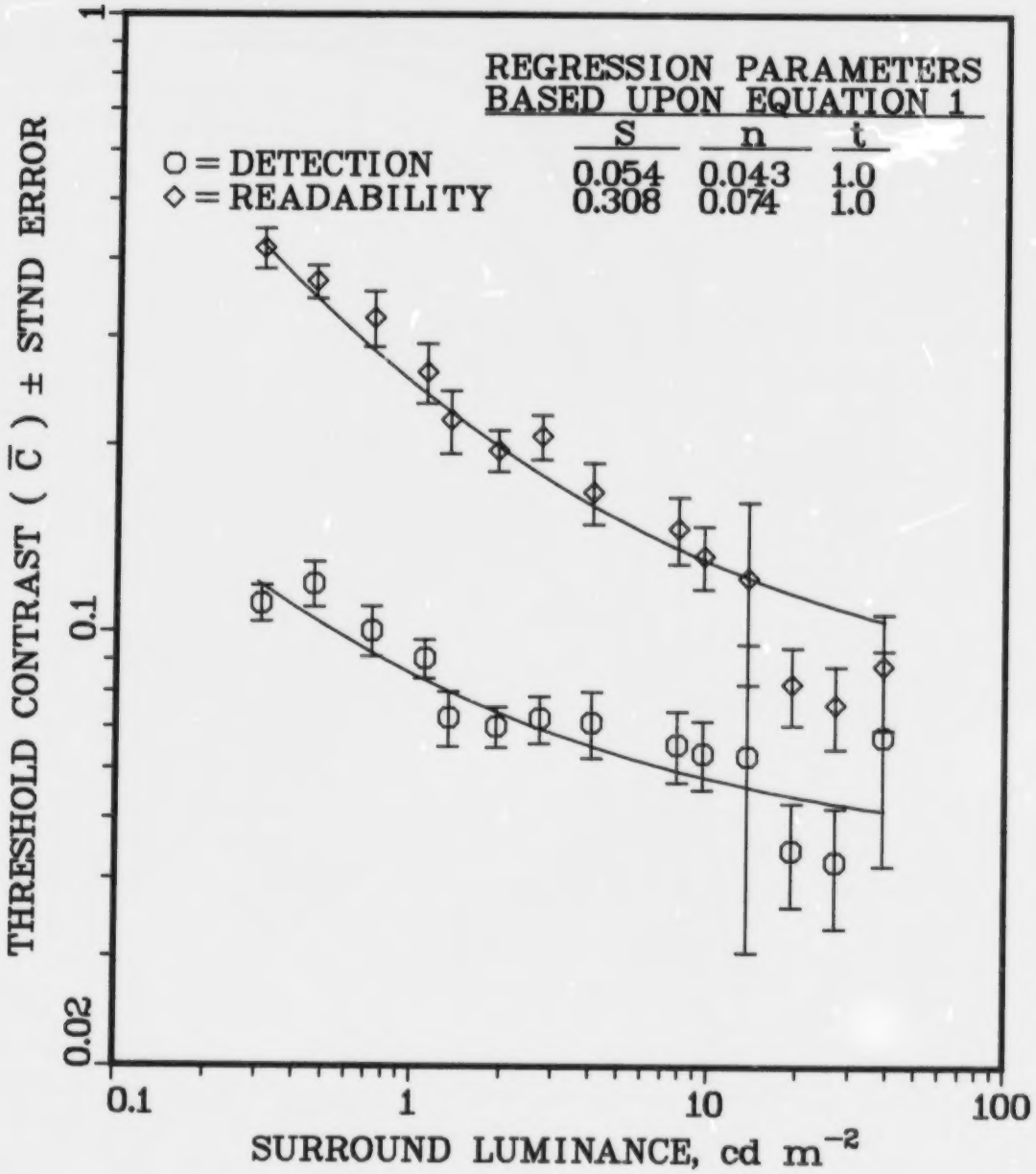


Figure 8

Detection and Readability thresholds for steady viewing of numbers. Detection data are from Figure 2. As in Figure 2, the standard errors are larger for the four highest luminances because they are based upon a third less data.

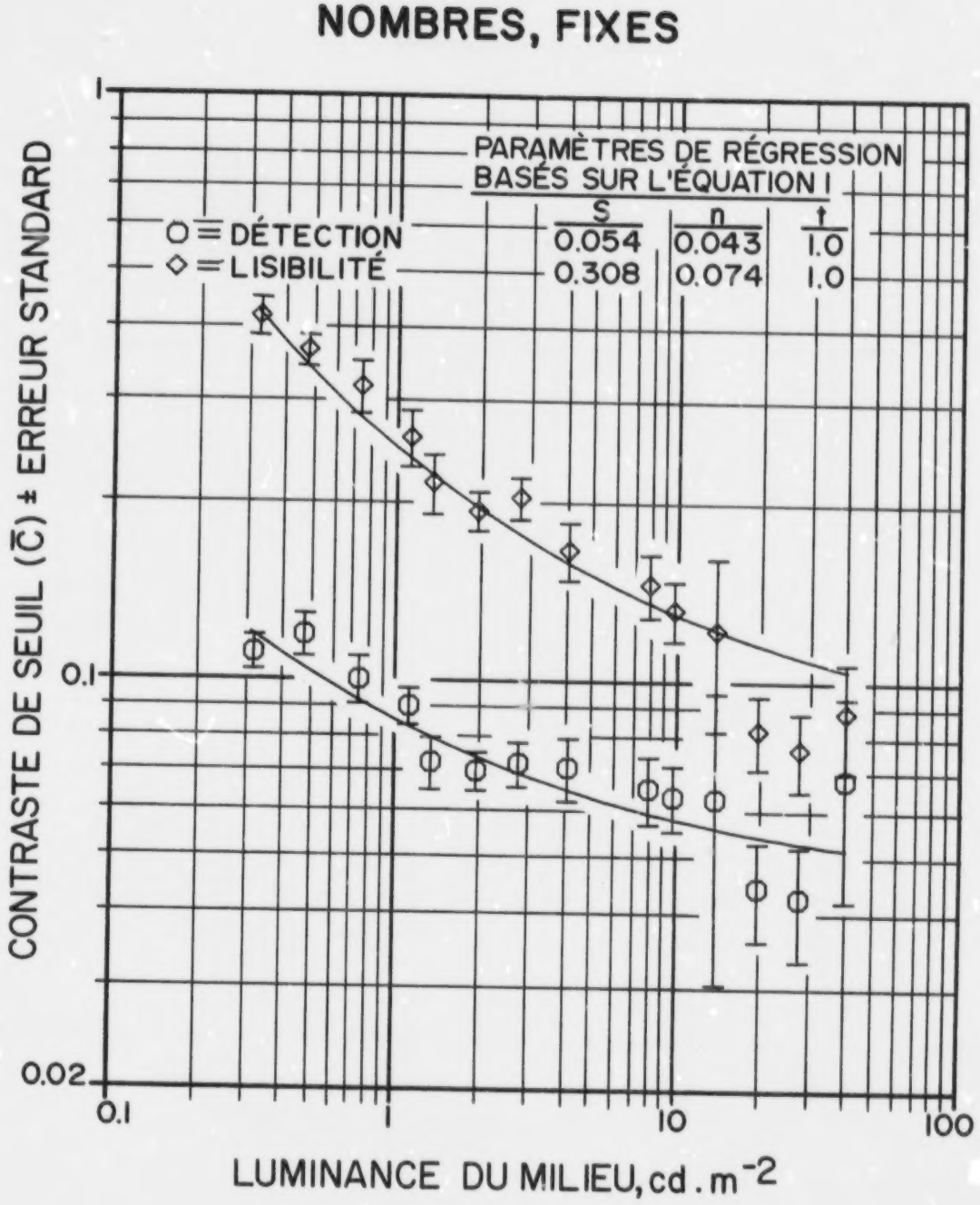


FIGURE 8

Seuils de détection et de lisibilité pour le visionnement fixe de chiffres. Les données de détection sont tirées de la figure 2. Comme dans la figure 2, les erreurs types sont plus grandes pour les quatre luminances les plus fortes, parce qu'elles sont basées sur une quantité de données plus réduite d'un tiers.

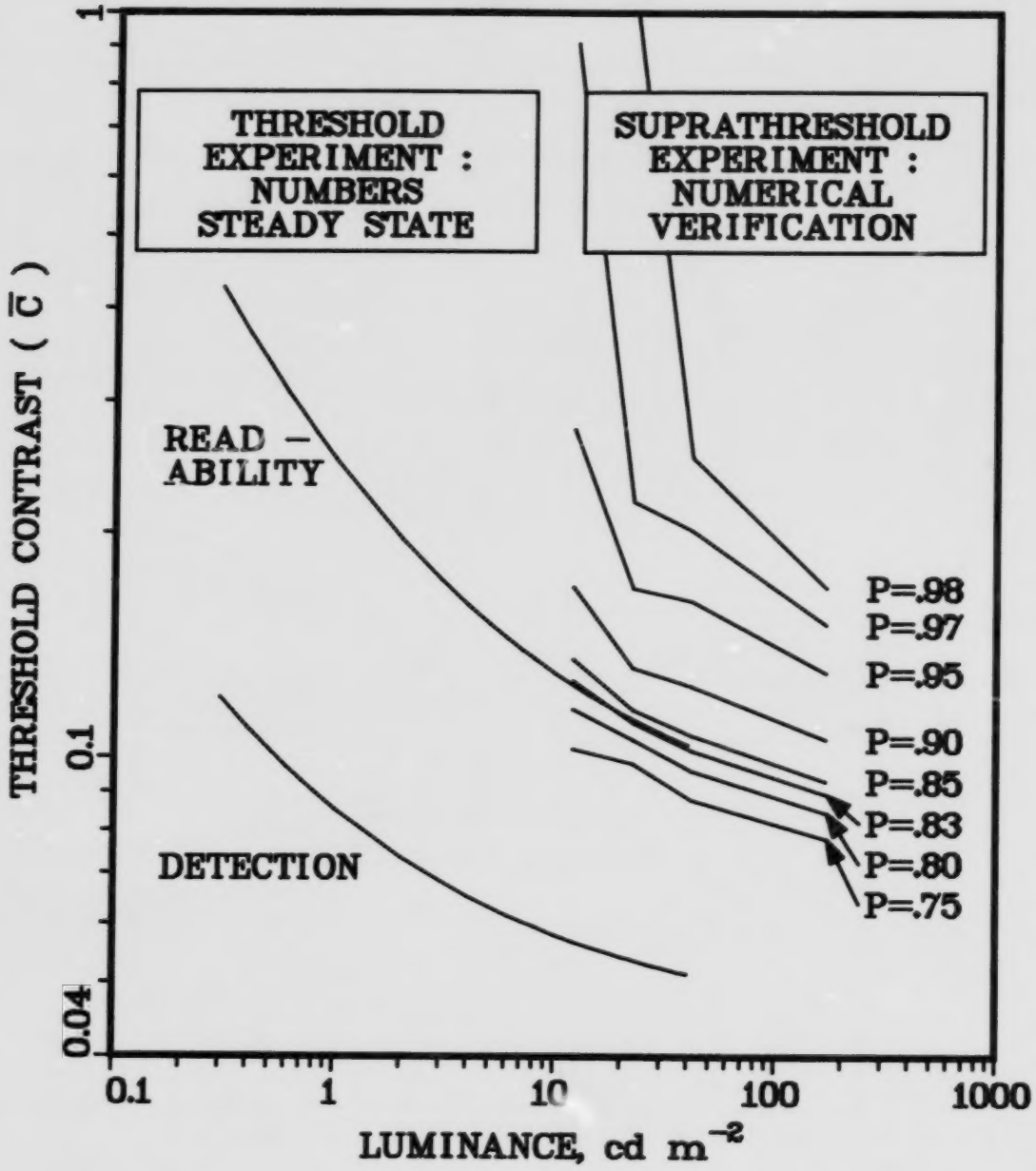


Figure 9

Detection and readability threshold response functions plotted with equal visibility lines from suprathreshold, visual performance responses. The readability threshold function for numbers is equivalent to an equal visibility line of 0.83 from suprathreshold visual performance functions for the same stimuli. Various equalvisibility lines are presented to show the changes in their shape with higher constant criteria.

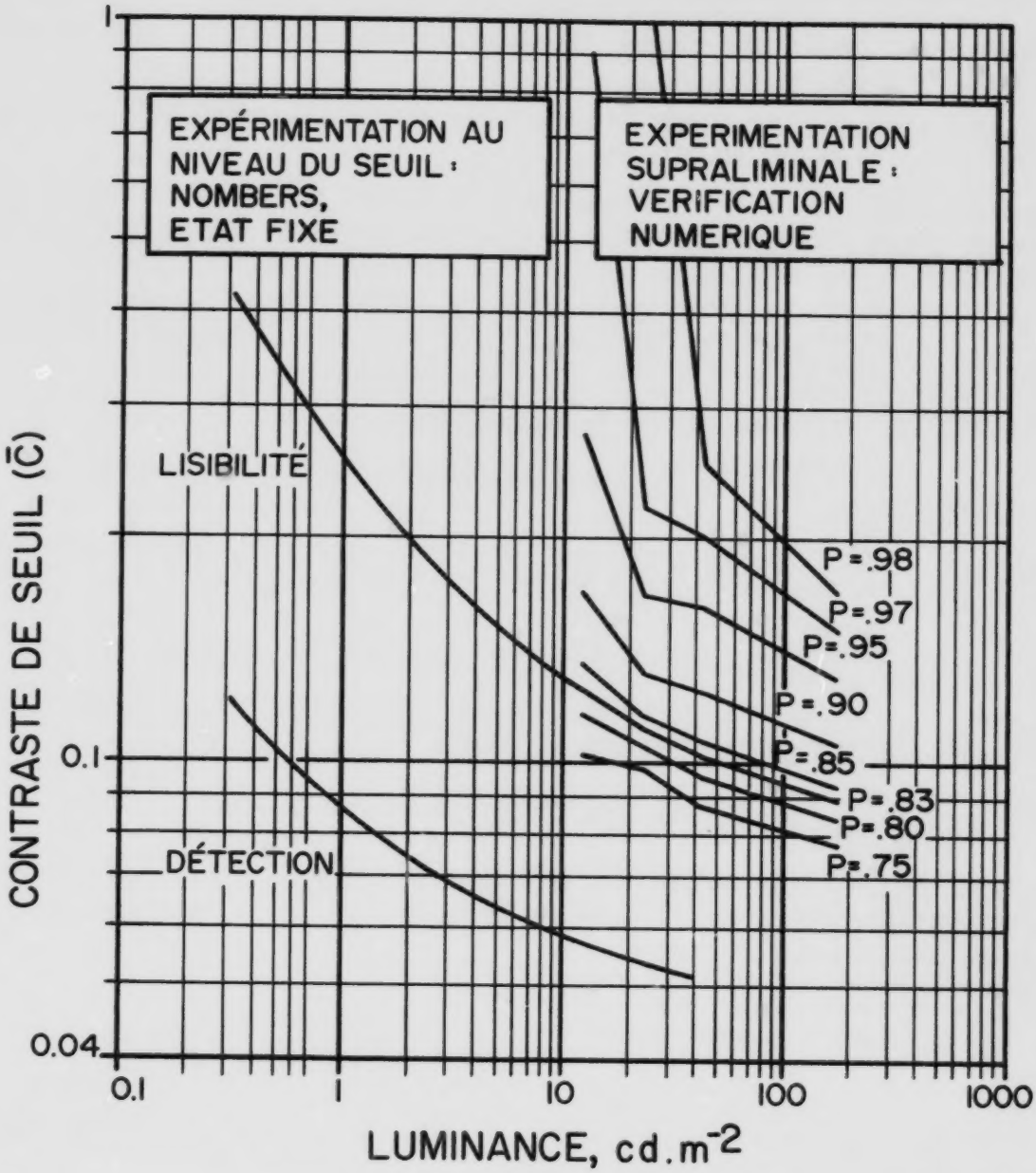


FIGURE 9

Fonctions de réaction aux seuils de détection et de lisibilité, tracées avec des lignes d'équivisibilité à partir des réactions de performance visuelle supraliminale. La fonction du seuil de lisibilité des chiffres équivaut à une ligne d'équivisibilité de 0,83 tirée des fonctions de performance visuelle supraliminale obtenues avec les même stimuli. On présente diverses lignes d'équivisibilité afin de montrer l'évolution de leur forme lorsqu'on passe à des critères constants plus élevés.

References/Références

Boynton, R.M., Whitten, D.N., 1970. Visual Adaptation in Monkey Cones: Recordings of Late Receptor Potentials, Science, Vol. 170, pp. 1423-1425.

Bracewell, R.N., 1978. The Fourier Transform and Its Applications, McGraw-Hill, New York, Second Edition.

Campbell, F.W., Robson, J.G., 1968. Application of Fourier Analysis to the Visibility of Gratings, J. Physiology, 197, pp. 551-566.

Commission Internationale de l'Eclairage, 1972. A Unified Framework of Methods for Evaluating Visual Performance Aspects of Lighting; Technical Committee 3.1, CIE Publication No. 19 (TC-3.1).

Commission Internationale de l'Eclairage, 1981. An Analytic Model for Describing the Influence of Lighting Parameters Upon Visual Performance; Vol. 1, Technical Foundations, Technical Committee 3.1, CIE Publication No. 19/2.1 (TC-3.1).

Cornsweet, T.N., 1970. Visual Perception, Academic Press, New York.

Fulton, A.B., Rushton, W., 1978. Rod Erg of the Mudpuppy; Effect of Dim Red Backgrounds, Vision Research, Volu. 18, pp. 785-792.

Ginsburg, A.P., 1980. Specifying Relevant Spatial Information for Image Evaluation and Display Design: An Explanation of How We See Certain Objects, Proc. of the SID, Vol. 21, No. 3, pp. 219-227.

Kelly, D.H., 1977. Visual Contrast Sensitivity, Optica Acta, Vol. 24, No. 2, pp. 107-129.

Naka, K.I., Rushton, W., 1966(a). An Attempt to Analyze Color Reception by Electrophysiology, J. Physiology, Vol. 185, pp. 556-586.

Naka, K.I., Rushton, W., 1966(b). S-Potentials from Color Units in the Retina of Fish (Cyprinidae), J. Physiology, Vol. 185, pp. 536-555.

Rea, M.S., 1981. Visual Performance with Realistic Methods of Changing Contrast, Illuminating Engineering Society (IES), Vol. 10, No. 3, pp. 164-177.

Kevin Poulton, M.I.E., F.I.E.S., M.C.I.B.S.,
Kempthorne Lighting Company
1680 Dandenong Road
Clayton, Victoria 3168
Australia

ABOUT THE AUTHOR

Kevin Poulton is a Member of the ANCI - Australian National Committee on Illumation and Chairman of the International Lighting Committee (CIE) Technical Committee TC3.4 on Discomfort Glare. He is a part-time lecturer on Lighting at RMIT Technical College and Department of Architecture, Melbourne University. He is a member of SAA LG/1 Committee which prepared AS1680 - 1976. Other SAA Commitments are: LG - Lighting Standards, LG/4; Luminaires, LG/7; Emergency Lighting in Buildings. Work experience includes; lighting engineer with the State Electricity Commission of Victoria, designing lighting for power stations and advising on street lighting; full time teaching electrical engineering and lighting to sub-professional level students at Royal Melbourne Institute of Technology; senior lighting engineer with the Working Environment Division of the Commonwealth Department of Labour, later known as Department of Productivity. He represented the executive of the ANCI at Grenade in 1981.

Kevin Poulton, M.I.E., F.I.E.S., M.C.I.B.S.,
Kempthorne Lighting Company
1680 Dandenong Road
Clayton, Victoria 3168
Australie

L'AUTEUR

Kevin Poulton est membre du ANCI - Australian National Committee on Illumination. Il est président du Comité d'études TC3.4, Éblouissement inconfortable, de la Commission internationale de l'éclairage. Il enseigne l'éclairage comme chargé de cours au RMIT Technical College ainsi qu'à l'école d'architecture de l'Université de Melbourne. Il est aussi membre du Comité LG/1 de la SAA, comité qui a préparé la norme AS1680 publiée en 1976. Il a participé aux comités LG, LG/4 et LG/7 de la SAA s'occupant respectivement des normes sur l'éclairage, des luminaires et de l'éclairage de secours des immeubles. Au cours de sa carrière, M. Poulton a été éclairagiste pour la State Electricity Commission of Victoria, où il a conçu l'éclairage de postes d'électricité et agit à titre d'expert-conseil pour l'éclairage des rues. Il a enseigné à plein temps le génie électrique et l'éclairage aux étudiants de premier cycle au Royal Melbourne Institute of Technology. Enfin, il a été éclairagiste principal pour le Working Environment Division du Commonwealth Department of Labour, connu par la suite sour le nom de Department of Productivity. M. Poulton a représenté la direction de l'ANCI à Grenade, en 1981.

THE INTEGRATION OF VISUAL PERFORMANCE INTO THE ILLUMINATION DESIGN PROCESS (The Australian Position)

For the past forty years, the lighting design process in Australia has been strongly influenced by several editions of a Lighting Code, produced by the Standards Association of Australia.

This is not to say that a system has been imposed from above onto the lighting industry, but rather the lighting industry has guided and worked in concert with the SAA.

Let me explain.

Early in 1939, a group of Australian Lighting Engineers met and discussed the possibility of an Australian Lighting Code. They did not meet in isolation as the matter was freely discussed throughout the lighting industry.

For instance the editorial of the first issue of the IES Review, October 1939, said:

> "The Illuminating Engineering Society of Australia, Victoria, has embarked on a progressive policy of development. With the help of the National Safety Council and the cooperation of the Standards Association, interior lighting conditions will undoubtedly be greatly improved in the near future".

The events of September 1939, momentarily interrupted these ideals.

By 1942, it was obvious that the War, as far as Australia was concerned, was real and that she would have to start producing the engines of War on a production basis - and quickly.

Thus, in a very short time, the Australian Society was changed from an agrarian to an Industrial Society.

L'INTÉGRATION DE LA PERFORMANCE VISUELLE AU PROCESSUS DE CONCEPTION D'ÉCLAIRAGE (Considérations australiennes)

Au cours des quarante dernières années, le processus de conception d'éclairage en Australie a été fortement influencé par plusieurs éditions d'un code d'éclairage publié par l'Association australienne de normalisation (Standards Association of Australia).

Il ne s'agit pas là d'un système que l'on a imposé à l'industrie de l'éclairage; au contaire, celle-ci a guidé la SAA et a collaboré avec cette dernière.

Quelques précisions sont de rigueur.

Vers le début de 1939, un groupe d'éclairagistes australiens s'est réuni pour discuter d'un éventuel code australien de l'éclairage. Cette réunion n'était pas un événement isolé, et le sujet fit l'objet de débats au sein de toute l'industie de l'éclairage.

Citons, à titre d'exemple, l'éditorial du premier numéro (celui d'octobre 1939) du "IES Review":

> "La Illuminating Engineering Society de l'Australie, à Victoria, a adopté une politique de développement progressif. Grâce à l'aide du Conseil national de la sécurité et à la collaboration de l'Association de normalisation, l'éclairage d'intérieur connaîtra sans doute de grands progrès dans le proche avenir."

Il y eut cependant une interruption temporaire de ces idéaux, suite aux événements de septembre 1939.

En 1942, il était devenu évident que la guerre concernait directement l'Australie et qu'elle devait commencer à produire du matériel de guerre en série et très rapidement.

Ainsi, en très peu de temps, la société australienne, agraire, est devenue une société industrielle.

On July 8, 1942, the Commonwealth Government proclaimed "The National Security (Industrial Lighting) Regulations. They included a table of minimum illuminance values (in modern terminology) for industrial premises and tasks. But in addition, the Regulations stated:

> "The quality of illumination shall be adequate to provide comfortable vision and ensure easy, accurate and quick seeing".

Although visual performance was not stated explicitly, it was certainly implied, and that was almost forty years ago.

The 1942 Code, as it became known, devoted considerable space to the quality aspects of lighting.

The 1950's were boom years in Australia, as other parts of the World. The Australian secondary industries now produced motor cars, household "white goods" and many manufactured items considered "essential" at that time. Once again, the Lighting Industry's thoughts turned to a lighting code which was relevant in the era of the fluorescent lamp and so a new lighting code, known as CA30-1957 was born, after long gestation period.

The foreword of this 1957 edition explained the thinking of our early Code makers and the foundations they laid are still the basis of our present 1976 Code and probably for future Codes.

Our forefathers were quite specific in how they saw the functions of a lighting installation:

> "The purpose of lighting is to provide efficient and comfortable seeing as an aid to work, to help guard against eye-strain and fatigue and to help provide a safe working environment".

Le 8 juillet 1942, le gouvernement du Commonwealth a adopté les Règlements nationaux de sécurité (éclairage industriel), comprenant un tableau des valeurs minimales d'éclairement (selon la terminologie moderne) pour les locaux et les tâches industriels. De plus, les Règlements précisaient:

> "La qualité de l'éclairage doit assurer une vision confortable et permettre que l'on voie facilement, avec précision et rapidement."

Bien que la performance visuelle n'ait pas été précisée explicitement, les règlements en parlaient tacitement ... et cela fait déjà presque quarante ans!

Le code de 1942 (nom dont on désigna ces règlements par la suite) comportait beaucoup de détails sur les aspects "qualité" de l'éclairage.

En Australie, comme ailleurs dans le monde, les années 1950 connurent une forte expansion économique. L'industrie secondaire du pays produisait déjà des voitures, des appareils ménagers et de nombreux produits de fabrication que l'on considérait, à ce moment-là, essentiels. Pour l'industrie de l'éclairage, il fallait alors un code d'éclairage révisé pour tenir compte, entre autres, des lampes fluorescentes; après une longue période d'élaboration, un nouveau code d'éclairage, désigné CA30-1957, vit le jour.

L'avant-propos de l'édition de 1957 clarifiait les prises de position des auteurs de nos premiers codes et posait les jalons qui guident notre code 1976 actuel ainsi que très probablement les codes futurs.

Ces auteurs ont spécifié avec une grande précision les fonctions d'une instalaltion d'éclairage:

> "L'éclairage doit permettre une vision efficace et confortable pour aider le travail, pour empêcher la fatigue oculaire et rendre plus sécuritaires les lieux de travail."

Their guidelines for a lighting design were based on "the outcome of accumulated experience and scientific research" to use their words and were directed towards, to quote again:

> "Such fundamental problems as what amount of illumination is desirable for various visual tasks and what limitations of light source luminance are desirable..."

This is still the Australian viewpoint, that visual performance is modulated by both the quantity and quality of illumination.

There is probably no more contentious a subject in all of the art and science of illumination than the matter of the quantity of illumination. During the preparation of AS 1680, there were more man-hours of discussion on the illuminance value schedules of the Code than any other topic. Finally, it was concluded what we were really arguing about was not so much as to the quantity of illumination, but task visibility. It was also concluded that in many instances, task visibility depended more on the way in which the light is applied than the actual quantity of light. Thus the Australian stand is that the service value of illuminance (see Table 1) for a specifc task should be the minimum value, including allowance for the various depreciation components - which are generally well understood.

D'après eux, la conception d'éclairage devrait être fondée sur "le résultat de l'expérience cumulée et de la recherche scientifique" ... visant à résoudre:

> "Des problèmes fondamentaux, à savoir quelle quantité d'éclairement serait souhaitable pour diverses tâches visuelles, et quelles limites devrait-on imposer à la luminance des sources..."

Encore aujourd'hui, c'est la position australienne: la performance visuelle doit être modulée tant par la quantité que par la qualité de l'éclairement.

Dans tout le domaine de l'éclairage, aucun sujet n'est probablement débattu autant que la question de la quantité d'éclairement. Lors de l'élaboration de la norme australienne 1680, on a passé plus de temps à discuter des tableaux de valeurs d'éclairement du Code que n'importe quel autre sujet. À la fin, nous avons conclu que ce que nous débattions n'était pas vraiment la quantité d'éclairement mais plutôt la visibilité de la tâche. Nous avons conclu également que, dans de nombreux cas, la visibilité de la tâche était fonction de la façon dont on applique la lumière plutôt que de la quantité effective de lumière. La position australienne est donc que la valeur d'éclairement de service (voir Tableau 1) pour une tâche spécifique devrait être la valeur minimale, en y incluant une marge pour les divers facteurs de dépréciation, qui sont généralement bien connus.

Type of task or interior/ Type de tâche ou d'intérieur	Recommended service illuminance/ Éclairement de service recommandé (lx)	Special requirements (see below for explanation)/ Exigences spéciales (voir l'explication ci-dessous)
COMPUTER ROOMS/SALLES D'ORDINATEUR		
General/En général	400	
Input terminals/Terminaux d'entrée	600	LL, UR
Output terminals/Terminaux de sortie:		
General/En général	600	LL, UR
Cathode ray tube/Tubes à rayons cathodiques	Special/Spécial	
CONFERENCE ROOMS AND BOARDROOMS/ SALLES DE CONFÉRENCE ET DE RÉUNION	300	
DRAWING OFFICES/BUREAUX DE DESSIN		
General/En général	400	
Boards/Salles de conseil	600	LL, UR
Plan printing/Impression de plans	200	UR
GENERAL OFFICES/BUREAUX ORDINAIRES		
Tasks involving typing, writing, reading, filing, etc./ Tâches concernant la dactylographie, l'écriture, la lecture, le classement, etc.	400	UR
Work with abnormally low contrast/Travail dans des conditions de contraste anormalement faible	600	LL, UR
Counters (banks, insurance, travel, etc.)/Comptoirs (banque, assurance, voyage, etc.)	400	
Copying rooms/Salles de photocopie	300	
Storerooms and stockrooms/Remises et pièces d'emmagasinage	200	
Vaults, strongrooms/Coffres-forts	100	

LL Local lighting necessary or desirable
UR Unwanted reflections possible

LL Un éclairage local est nécessaire ou souhaitable
UR Il peut y avoir des réflexions indésirables

Table 1: Recommended Service Illuminance for Offices

Tableau 1: Éclairement de service recommandé pour les bureaux

Modern offices are generally large open areas with relatively low ceilings. Although windows are of benefit to everyone in the area they will only admit sufficient daylight for persons seated near the window wall. Artificial lighting will therefore be required at all times for areas more distant from the window wall than 1.5 times the height of the window head above the work plan. Veiling and distracting reflections are often troublesome in offices.

Les bureaux modernes sont généralement de vastes aires ouvertes, avec des plafonds relativement bas. Bien que les fenêtres présentent un avantage pour tout le monde dans cette aire, elles n'admettent une lumière suffisante que pour les personnes installées près de la fenêtre. Un éclairage artificiel sera donc nécessaire en tout temps pour les zones dont la distance au mur qui contient la fenêtre est supérieure à 1,5 fois la hauteur de la fenêtre au-dessus de plan de travail. Dans les bureaux, les réflexions de voile sont souvent source d'ennuis.

This may be considered an open ended scale with a prescribed lower limit and an upper limit regulated by economic considerations, rather than visual performance. We are of the opinion that task visibility is dependent upon many factors, other than quantity. These include considerations such as the character and direction of the light, the use of aids to seeing, the avoidance of distraction. Hence, AS 1680 has in addition to a schedule of tasks, a two letter symbol system which denotes the need for care or special consideration.

On peut considérer ces valeurs comme étant une échelle souple, dont la limite inférieure et la limite supérieure dépendent de considérations économiques plutôt que de la performance visuelle. À notre avis, la visibilité de tâche dépend de nombreux facteurs autres que la quantité, dont le caractère et la direction de la lumière, l'emploi d'aides visuelles, le fait d'éviter toute distraction. La norme australienne 1680 comprend donc, en plus d'une liste de tâches, un système de symboles à deux lettres précisant la nécessité d'une attention ou de considérations spéciales.

In Australia, Illuminance values, both recommended and those adopted in practice, tend to be lower than those adopted in either Europe or North America. This is partly because lighting is the major heat load in commercial buildings, apart from solar heat gain. For example, in a conventional multi-storey commercial building with an average horizontal illuminance value of about 400 lux, the cooling load will be in the order of 150 watts per square metre; the cost approximately $A700 per kW, which approximately equal to $A1.05 per square metre. In the same building, the heating load would only be 110 watt per square metre, the cost depending upon the type of fuel used. In general, most multi-storey buildings have only the perimeter zone heating and in Melbourne, with a latitude of approximately 38° South, that would only occur on about 20 days in the year. Therefore, as far as illuminance values are

En Australie, les valeurs d'éclairement (celles recommandées ainsi que celles adoptées en pratique) sont généralement plus basse que les valeurs adoptées en Europe ou en Amérique du Nord, et ce en partie parce que l'éclairage représente, en Australie, la plus forte proportion de la charge de chauffage des immeubles commerciaux, à part les gains de chaleur solaire. Par exemple, dans un immeuble commercial classique à plusieurs étages ayant une valeur d'éclairement horizontal moyen d'environ 400 lux, la charge de refroidissement sera de l'ordre de 150 watts par mètre carré, le coût étant d'environ $A700 par kW, ce qui revient à environ $A1,05 par mètre carré. Dans le même immeuble, la charge de chauffage serait de seulement 110 watts par mètre carré, le coût étant fonction du type de combustible utilisé. La plupart des immeubles à plusieurs étages ne possèdent qu'un chauffage des zones périmétriques; à

concerned, any theoretical gain in visual performance must be balanced against the practical reality of increase in cooling load.

Melbourne, située à une latitude d'environ 38° Sud, ce chauffage n'entrerait en jeu que pendant environ 20 jours par an. En ce qui concerne les valeurs d'éclairement, il faut donc peser tout gain théorique de performance visuelle contre le fait qu'il faudra augmenter la charge de refroidissement.

The Australian approach towards lighting design is a two-fold approach, that is the fundamental objectives must be, to effectively reveal the task and provide a safe and comfortable visual environment. There is no priority in these two criteria, in our view, one does not take precedence over the other. AS 1680 clearly defines the parameters of a lighting installation, that is efficient seeing of the task depends upon adequate illumination, freedom from unwanted reflections, the luminance of the surroundings correctly related to that of the task.

L'approche australienne en matière de conception d'éclairage a deux volets: bien éclairer la tâche, d'une part, et d'autre part assurer un milieu visuel sécuritaire et confortable. À notre avis, ces deux critères ont la même importance relative, aucun des deux ne prime. La norme australienne 1680 définit clairement les paramètres d'une installation d'éclairage: pour bien voir une tâche il faut un éclairage adéquat, une absence de réflexions indésirables, ainsi qu'un rapport correct entre la luminance du milieu et celle de la tâche.

Similarly, a safe and comfortable visual environment depends upon avoidance of excessive illuminance variations, absence of direct glare, correct luminance distribution and use of suitable colour on the main interior surfaces and light sources with suitable colour characteristics. If these design objectives are followed, then the emphasis must be on the quality rather than the quantity of the lighting installed. Thus, in our view, adequate visual performance cannot be attained unless the quality of the lighting is adequate. We believe the dominant trinity of quality lighting is:

De même, pour obtenir un milieu visuel confortable, il faut éviter toute variation excessive de l'éclairement ainsi que tout éblouissement direct, assurer une répartition correcte de la luminance et utiliser les couleurs appropriées sur les principales surfaces intérieures ainsi que des sources lumineuses présentant des caractéristiques de couleur appropriées. Pour suivre ces principes de conception, il faut mettre l'accent sur la qualité plutôt que sur la quantité de l'éclairage installé. À notre avis, on ne peut donc pas réaliser une performance visuelle adéquate à moins que la qualité de l'éclairage, elle, ne soit également adéquate. À notre avis, les trois caractéristiques principales d'un éclairage de qualité sont:

1. The minimizing of discomfort glare;
2. Controlling the unwanted reflections;
3. Providing an acceptable brightness distribution throughout the interior.

1. Minimiser l'éblouissement gênant;
2. Réduire les réflexions indésirables;
3. Assurer une répartition acceptable de la luminosité sur l'ensemble de l'intérieur.

There are a wide variety of methods of controlling discomfort glare. Our chosen system is based on the Guth Visual Comfort Probability (VCP) method officially adopted by the IES of North America, but once again, converted to a luminance limiting system of the type traditionally used in our country.

Pour réduire l'éblouissement gênant, on utilise une vaste gamme de méthodes différentes. Le système que nous avons choisi est basé sur la méthode de Guth de la probabilité de confort visuel (VCP = Visual Comfort Probabilité) adoptée officiellement par l'IES en Amérique du Nord, mais converti, lui aussi, à un système limitatif de luminance, du type traditionnellement utilisé dans notre pays.

If we agree on the premise that visual performance is a function of the visual system's ability to perceive detail and that visual comfort is a function of the influence of the visual environment on seeing, then the problem of minimizing contrast reduction caused by veiling reflections is paramount for optimizing visual performance. The parameters influencing veiling reflections (figure 1) can be described in either quanlitive or quantitive terms (figure 2). We have for many years used the E/L ratios and they have served very well in the past (see Table 2).

Si nous admettons que la performance visuelle est fonction de l'aptitude du système visuel à percevoir les détails, et que le confort visuel est fonction de l'influence que le milieu visuel a sur la vision, il devient alors essentiel, afin d'optimiser la performance visuelle, de minimiser la réduction du contraste qui est due aux réflexions de voile (figure 1) en termes soit qualitatifs soit quantitatifs (figure 2). Depuis de nombreuses années, nous utilisons les rapports E/L, qui nous a été très utile dans le passé (voir Tableau 2).

De Boer has shown that there is a relationship between actual contrast ratio and L/E ratios for various visual tasks.

De Boer a démontré qu'il y a un rapport entre le ratio du contraste réel et les ratios L/E pour les diverses tâches visuelles.

His recommendation of a maximum L/E ratio which corresponds to an ACR of 0.5 for a pencil task on matt paper is 7 $cd/m^2/lux$. This transposes to an minimum E/L ratio that is AS 1680 terminology of approximately 140 $lux/kcd/m^2$.

Il recommande la valeur de 7 $cd/m^2/lux$ pour le rapport L/E maximal correspondant à un ACR de 0,5 pour une tâche au crayon sur papier mat, ce qui équivaut à un rapport E/L minimal (terminologie de la norme australienne 1680) d'environ 140 $lux/kcd/m^2$.

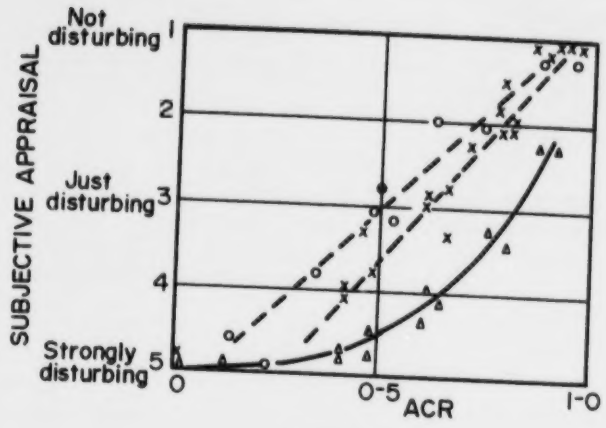


Figure Ia

Subjective appraisal of glare
O handwritten pencil text
X printed text
Δ printed pictures

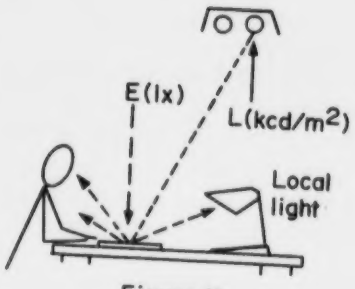


Figure Ib

Veiling Reflexions

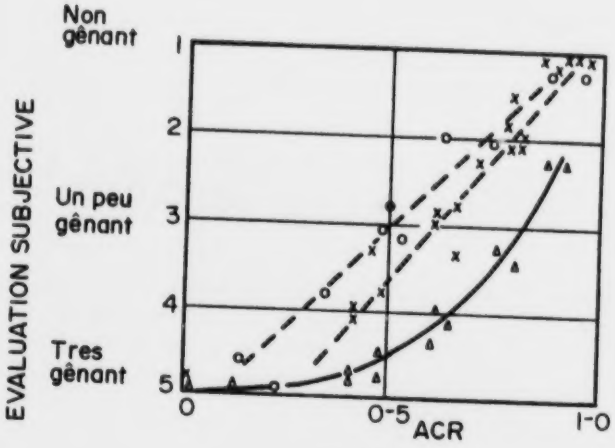


Figure Ia

Évaluation subjective de l'éblouissement
O texte manuscrit au crayon
X texte imprimé
Δ images imprimées

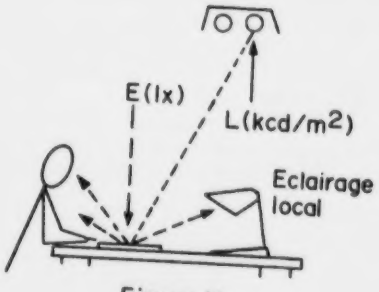


Figure Ib

Réflexions de voile

Classes of task (with typical examples)/ Catégories de tâches (avec exemples types)	Minimum E/L ratio*/ Rapport E/L minimum*
Light-coloured tasks with good contrast and only slightly glossy details/Tâches à couleurs claires, avec un bon contraste et des détails peu brillants	
Ordinary pencil and white paper work of the type done in offices/Travail au crayon sur papier blanc ordinaire, exemple: travail de bureau	80
Light-coloured tasks with good contrast but with an overall gloss/Tâches à couleurs claires, avec un bon contraste mais avec une brillance d'ensemble	
Office work involving the use of copying pencil or coloured paper; production of tracings on the glossy side of the cloth; reading of matter printed on white paper with a high gloss; reading of meters/Travail de bureau mettant en jeu un crayon à copier ou du papier coloré; traçage sur le côté brillant du tissu; lecture de textes imprimés sur papier blanc très brillant; lecture de compteurs	160
Dark-coloured tasks with an overall gloss and light-coloured glossy tasks with poor contrast/Tâches à couleurs foncées, avec un brillant d'ensemble et tâches brillantes à couleurs claires et contraste médiocre	800

*E/L ratio = $\frac{\text{Task illuminance (lx)}}{\text{Source luminance (kcd/m}^2\text{)}}$

*Rapport E/L = $\frac{\text{Éclairement de la tâche (lx)/}}{\text{Luminance de la source (kcd/m}^2\text{)}}$

The luminance referred to here is the **maximum luminance** of lamps visible through louvers, or of the underside of luminaires, or of other surfaces likely to be reflected in the task area.

Cette luminance est la **luminance maximale** de lampes visibles à travers les paraplumes, ou de la partie inférieure des luminaires, ou d'autres surfaces qui peuvent être réfléchies dans la zone de travail.

Table 2: Minimum E/L Ratio for the Control of Veiling Reflections

Tableau 2: Rapport E/L minimum pour la réduction des réflexions de voile

Other means of quantifying the effects of veiling reflections are CRF or ESI. Regarding the concept of ESI, this was carefully studied during the preparation of the AS 1680 code, but rejected; primarily because of the difficulty of predicting ESI values in the design stages. However, the recent developments in CRF in England and Europe especially the contrast meter produced in Denmark has brought about renewed interest in Australia in CRF.

Also there is now an opinion that the E/L ratios may be too simplistic for a lighting installation in the 1980's.

Regarding the CIE 19/2 Report, it has not in general been favourably received. It is considered to be of mainly academic interest, but not of practical value.

We are of the opinion that visual performance considerations must be determined in perceptual as well as physical terms.

We cannot accept the notion that older workers need significantly more light for ordinary, every day tasks than young people. Agreed, they will be slower, but this will be more than compensated by their greater skill and experience.

Regarding increase in task difficulty, this can in many instances be reduced by seeing aids, such as, magnifying lens, hence our two letter symbol system.

Le CRF ou le ESI sont d'autres moyens permettant de cerner les effets des réflexions de voile. En ce qui concerne le concept du ESI, il a fait l'objet d'études approfondies lors de l'élaboration du code AS 1680, mais il a été rejeté, surtout à cause de la difficulté qu'il y a à prévoir les valeurs de ESI au stade de la conception. Cependant, l'évolution récente du CRF en Angleterre et en Europe, et surtout l'instrument de mesure du contraste fabriqué au Danemark, ont produit un renouveau d'intérêt, en Australie, envers le CRF.

De plus, on se demande actuellement si les rapports E/L ne sont peut-être pas trop simplistes pour une installation d'éclairage moderne.

En ce qui concerne le rapport CIE 19/2, il n'a pas fait l'objet d'un accueil généralement favorable, puisqu'on le juge d'une valeur essentiellement académique plutôt que pratique.

À notre avis, la performance visuelle doit être définie en termes aussi bien perceptuels que physiques.

Nous ne pouvons accepter l'idée que les travailleurs plus âgés ont besoin de beaucoup plus de lumière que les jeunes pour les tâches quotidiennes ordinaires. D'accord, ils travailleront plus lentement, mais ce fait sera plus que compensé par leur plus grandes aptitude et expérience.

En ce qui concerne l'augmentation de la difficulté d'une tâche, on peut réduire ces difficultés, dans de nombreux cas, au moyen d'aides visuelles telle une loupe; c'est pour cela que nous avons adopté notre système de symboles à deux lettres.

Another aspect of 19/2 is the need for a visibility meter. A satisfactory unit is not available in our country, as yet, either as an experimental unit or practical field instrument. Several organizations, such as the Defence Standards Laboratory, have attempted to build one, but it has not been totally successful. At the present time, the Australian Road Research Board is experimenting with a principle, but has not as yet built a complete unit.

Un autre aspect de 19/2, c'est la nécessité d'un visibilimètre. On ne dispose pas encore, dans notre pays, d'appareils satisfaisants, qu'il s'agisse d'un appareil expérimental ou d'un instrument pratique à utiliser sur le terrain. Plusieurs organismes tel le Defence Standards Laboratory, ont essayé d'en construire un, mais il n'a pas été entièrement couronné de succès. À l'heure actuelle, le Australian Road Research Board fait des expériences sur un principe de fonctionnement mais n'est pas encore parvenu à fabriquer un appareil complet.

We appear to be moving towards the adoption of CRF and the Quality Classes proposed by TC 4.1, but it is early days yet.

On semble s'orienter vers l'adoption de CRF et des catégories de qualité proposées par CT 4.1, mais on en est encore aux débuts.

The third major factor is that of providing an acceptable brightness distribution throughout the working environment. There, the designer needs to steer a middle course between creating a bland, monotonous and depressingly dull environment and one which is over stimulating with excessive brightness differences.

Le troisième grand facteur, c'est d'assurer une répartition acceptable de la luminosité dans l'ensemble du milieu de travail. Ici, le concepteur doit trouver la juste moyenne entre un milieu insipide, monotone et d'un ennuyeux déprimant, d'une part, et d'autre part un milieu qui surexcite en raison des écarts de luminosité excessifs.

Not only is there a danger that visual performance will be reduced because of the gloomy depressing atmosphere, but also there is a likelihood of excessive fatigue when the visual task is difficult, or requires close concentration for a long time.

Le risque, c'est que la performance visuelle sera réduite à cause d'une atmosphère triste et déprimante, mais aussi qu'il se produira une fatigue excessive lorsque la tâche visuelle est difficile ou exige une forte concentration pendant une période prolongée.

To sum up the Australian position, our Lighting Codes have always followed practice. Also, it tells people what to do. We equate visual perfromance with visual productivity. Visual productivity depends on minimizing eye fatigue, spoilt work and accidents. Our experience of over 40 years of study and research into the fundamentals of lighting installation is that the greatest scope for improving visual productivity lies with increasing quality, rather than increasing illuminance values.

Pour résumer la position australienne: nos codes d'éclairage ont toujours suivi la pratique. De plus, ces codes disent aux gens quoi faire. Pour nous, performance visuelle équivaut à productivité visuelle. La productivité visuelle, elle, dépend d'une minimisation de la fatigue oculaire, du travail gâché et des accidents. Notre expérience de plus de 40 années d'études et de recherches sur les principes des installations d'éclairage démontre que c'est en améliorant la qualité plutôt qu'en augmentant les valeurs d'éclairement que l'on pourra améliorer le plus la productivité visuelle.

Lighting design procedures must take cognizance of the economic conditions, current practice, making maximum use of prevailing technology and finally, the theoretical considerations. Design procedures must be balanced to consider both the art and science of illumination.

Les procédés de conception d'éclairage doivent tenir compte des conditions économiques et des pratiques courantes, tout en utilisant au maximum la technologie existante ainsi que les considérations théoriques. Les méthodes de conception doivent être bien équilibrées et tenir compte à la fois de l'art et de la science de l'éclairage.

Isaac Goodbar
Chief Engineer
Edison Price Incorporated
409 East 60th Street
New York, N.Y. 10011

ABOUT THE AUTHOR

Isaac Goodbar graduated from the University of Buenos Aires as a civil engineer with Honor Diploma, (1942); also earned Master of Science degree in Electrical Engineering (1945) from MIT, attended on a fellowship. Early work on a new method for point by point calculation was first published in IE in 1946, and has since been accepted as the recommended method, as published in **IES Lighting Handbook.** Published more than 25 technical papers and one book. Patents issued number some 35, and cover a wide variety of electrical and lighting developments. Author of Street Lighting Code for the City of Buenos Aires. Licensed Professional Engineer. Fellow of IES of North America and CIBS of Great Britain. Expert witness in more than 26 cases involving lighting. U.S. Delegate to the last three CIE Congresses. Currently Chief Engineer for Edison Price, Inc., New York City. Currently a member of a number of IES technical committees.

Isaac Goodbar
Chief Engineer
Edison Price Incorporated
409 East 60th Street
New York, N.Y. 10011

L'AUTEUR

Isaac Goodbar a reçu son diplôme d'ingénieur civil de l'université de Buenos Aires, en 1942, avec la mention très honorable. Il a également été boursier au MIT où il a fait sa maîtrise des sciences en génie électrique en 1945. Ses premiers travaux sur une nouvelle méthode de calcul point par point a d'abord été publiée dans le IE en 1946 et est depuis la méthode conseillée publiée dans le **IES Lighting Handbook.** M. Goodbar a publié plus de 25 études techniques et un manuel. Il détient les droits de quelques 35 brevets couvrant une gamme variée d'inventions en matière d'électricité et d'éclairage. M. Goodbar est l'auteur du code d'éclairage des rues de la ville de Buenos Aires. Il est ingénieur professionnel licencié, membre de la IES of North America et du CIBS de la Grande-Bretagne. Il a été témoin expert en matière d'éclairage dans plus de 26 procès. Enfin, il a été le délégué des États-Unis aux trois derniers congrès de la CIE. L'auteur est actuellement ingénieur principal de Edison Price, Inc., de New York, ainsi que membre d'un certain nombre de comités d'études de la IES.

THE APPLICATION OF THE ESI SYSTEM TO OFFICE LIGHTING

The practical achievement of high quality illumination for performing office tasks may be divided into four steps:

First is to choose a system of measurement for quantifying the quality of illumination.

Second is to select an investigative means for predetermining the results of various possible solutions.

Third is to apply this means to the evaluation of suitable kinds and models and layouts of luminaires.

Fourth is to employ appropriate instruments to confirm the predictions and measure the effectiveness of the illumination after the installation is completed to provide information for future jobs.

FIRST

Thanks to this winter season an analogy suitable to step one is ready-at-hand. How do we measure our reaction to the cold? Both low temperatures and wind cause our bodies to lose heat. For years this fact had to be expressed with two numbers: wind velocity and temperature. This was confusing when we wanted to compare two conditions. Let us suppose that condition A involves a temperature of -5°C and a wind of 16 km/h while condition B involves -10°C and a 8 km/h wind. Which of these conditions results in a greater heat loss, a colder feeling?

APPLICATION DU SYSTÈME ESI À L'ÉCLAIRAGE DE BUREAU

On peut diviser en quatre étapes la réalisation pratique d'un éclairage de qualité permettant d'exécuter des tâches de bureau:

On choisit d'abord un système de mesure permettant de quantifier la qualité de l'éclairage.

Deuxièmement, on choisit un procédé d'enquête permettant de déterminer à l'avance les résultats des diverses solutions éventuelles.

Troisièmement, on utilise ces moyens pour évaluer les types, modèles et agencements de luminaires appropriés.

Quatrièmement, on se sert d'instruments appropriés pour confirmer les prévisions ainsi que pour mesurer l'efficacité de l'éclairage après l'achèvement de l'installation, afin de recueillir des informations pour les travaux futurs.

PREMIÈREMENT

Nous sommes maintenant en plein hiver, ce qui nous fournit une bonne analogie pour l'étape numéro un. Posons la question: Comment mesurons-nous notre réaction au froid? Et bien, tant les basses températures que le vent font que notre corps perde de la chaleur. Pendant de longues années, on exprimait ce fait par l'intermédiaire de deux chiffres: la vitesse du vent et la température, ce qui prêtait à confusion lorsqu'on voulait comparer deux états entre eux. Ainsi, en supposant que l'état A implique une température de -5°C et un vent de 16 km/h, tandis que l'état B implique -10°C et un vent de 8 km/h, lequel de ces deux états entraîne une perte de chaleur plus importante, une sensation de froid plus intense?

In assessing the coldness of the weather we are really assessing how we will feel. We want to know what we should wear to keep warm, and whether today is better or worse than yesterday. Using the system based on two independent values does not answer these questions. So we look for a way to add the effect of the wind to the effect of the temperature and gain the convenience of a single-number system. We use such a system in the United States, and we call the number the chill factor.

Lorsque nous évaluons la "froideur" du temps, nous évaluons en réalité notre perception du froid. Nous voulons savoir ce que nous devrions porter pour rester bien au chaud, et nous voulons également savoir si le temps qu'il fait aujourd'hui est meilleur ou pire que celui d'hier. Or, le système basé sur deux valeurs indépendantes ne peut pas répondre à ces questions. Il nous faut donc un moyen permettant d'ajouter l'effet du vent à l'effet de la température pour obtenir un système ne comportant qu'un seul chiffre. Aux États-Unis, nous utilisons un tel système: c'est le facteur de refroidissement du vent.

We cannot change this irregular rate of change but we can circumvent it. One way of doing this is by adopting as index not the ESI value but, instead, the product of the RCS and the CRF. This product, called RCS_{EFF} in Report 19/2, has to be calculated anyway (to calculate ESI) and has the interesting property of being exactly proportional to the visibility level. Other factors affecting visibility, such as direct glare (DGF) and transient adaptation (TAF) may be incorporated as multiplying factors. I call this product the EVI for Equivalent Visibility Index. Appendix 1 shows a comparison of EVI and ESI values. It will be noticed that while the ESI reaches extremely high and low values, the EVI changes more moderately and may appear more reasonable.

Il nous est impossible de changer ce changement irrégulier, mais nous pouvons cependant le contourner. L'une des façons d'y parvenir, c'est d'adopter comme indice non pas la valeur ESI mais plutôt le produit de la RCS et du CRF. Ce produit, que le Rapport 19/2 désigne RCS_{EFF}, doit être calculé de toute façon (afin de calculer le ESI); il présente la caractéristique intéressante d'être exactement proportionnel au niveau de visibilité. D'autres facteurs qui affectent la visibilité, tels l'éblouissement direct (DGF = Direct Glare Factor) et l'adaptation transitoire (TAF = Transient Adaptation Factor), peuvent y être incorporés en tant que facteurs de multiplication. Je désignerais ce produit sous le nom d'indice de visibilité équivalente (EVI = Equivalent Visibility Index). L'annexe 1 présente une comparaison entre les valeurs EVI et ESI. On remarquera que, si le ESI atteint des valeurs extrêmement élevées et très faibles, le EVI évolue de façon plus lente et semble donc plus raisonnable.

In lighting there is a similar situation. The visibility of the task depends on the luminance level and on the Contrast Rendition Factor (CRF). A number of countries in Europe have adopted a two-number system which does not permit a direct comparison of different lighting systems. When designing lighting it is important to be able to make simple clear comparisons of luminaires and layouts. Dealing separately with luminance levels and contrast rendition factors makes such comparisons difficult and uncertain.

Or, la situation dans le domaine de l'éclairage est assez semblable. La visibilité d'une tâche dépend du niveau de luminance et du facteur de rendu du contraste (CRF = Contrast Rendition Factor). Plusieurs pays européens ont adopté un système à deux chiffres qui ne permet pas de comparer directement des systèmes d'éclairage différents. Lors de la conception d'un éclairage, il importe de pouvoir faire des comparaisons claires et simples entre les divers luminaires et les différents agencements. Ces comparaisons deviennent difficiles et incertaines lorsqu'un traite séparément du niveau de luminance et des facteurs de rendu du contraste.

For each luminance level there is a Relative Contrast Sensitivity (RCS) defined in CIE Report 19/2 for different situations. If the CRF is equal to 1 the RCS will change in the same proportion (an increase in the contrast produces the same result as an increase in the contrast sensitivity). This will result in a different luminance, of such a magnitude that the corresponding RCS will be equal to the product of the RCS and the CRF. This has been called in Report 19/2 effective RCS or RCS_{EFF}. The luminance corresponding to the RCS_{EFF} will define the Equivalent Sphere Luminance (ESL). Dividing this value by the luminance factor of the task background the Equivalent Sphere Illumination (ESI) is obtained and results in a single-number system.

Pour chaque niveau de luminance, il y a une sensibilité différentielle relative (RCS = Relative Contrast Sensitivity) que le rapport CIE 19/2 définit pour diverses situations. Lorsque le CRF est égal à 1, la RCS changera dans la même proportion (une augmentation du contraste produira le même résultat qu'une augmentation de la sensibilité différentielle), ce qui donnera une luminance différente, d'une valeur telle que la RCS correspondante sera égale au produit de la RCS et du CRF. Dans le rapport 19/2, on appelle cette valeur la RCS efficace au RCS_{EFF}. La luminance correspondant à la RCC_{EFF} définira alors la luminance sphérique équivalente (ESL = Equivalent Sphere Luminance). En divisant cette valeur par le facteur de luminance énergétique du fond lumineux de la tâche, on obtient l'éclairement sphérique équivalent (ESI = Equivalent Sphere Illumination), qui donne un système comportant un seul chiffre.

The main criticism of the ESI system has been that small variations in CRF or in luminance often result in exaggerated changes in the ESI values. When the CRF is larger than unity there will be large increases in ESI, and as the CRF decreases below unity the increases in ESI become much smaller. (Appendix 1, NOTE: all units in appendix are in imperial units)

La principale critique à l'encontre du système ESI est que de faibles variations du CRF ou de la luminance entraînent souvent des changements excessifs des valeurs de ESI. Lorsque le CRF est supérieur à 1, il y a de fortes augmentations du ESI; d'autre part, à mesure que le CRF diminue en-dessous de 1, les augmentations du ESI deviennent beaucoup plus faibles. (Annexe 1, NOTE: toutes les unités en annexe sont en mesures anglaise)

This is due to the fact that the function relating RCS with luminance is non-linear. At low levels increases in luminance produce large increases in RCS but at high levels the RCS increases are extremely small. Some may not like this but it is a fact of nature that we cannot change. In fact something similar occurs with the chill factor: when the wind reaches speeds beyond 70 km/h further increases result in little or no additional chilling effect. Such changes in the rate of change occur with many natural phenomena, such as iron magnetization, and they also occur in human life. A man who doubles his income usually will improve his standard of living substantially. However, if he were already very wealthy his standard of living would change very little if at all; to produce a noticeable change large increases in income are needed. And large increases in luminance are needed to produce small increases in RCS when there is already a wealth of light.

Ceci est dû au fait que la fonction reliant entre elles la RCS et la luminance est une fonction non linéaire. À de faibles niveaux, des augmentations de la luminance entraînent de fortes augmentations de la RCS, tandis qu'à des niveaux élevés les augmentations de la RCS sont extrêmement faibles. Cet état de choses déplaît peut-être à certains, mais il s'agit là d'une donnée de la nature que personne ne peut changer. En fait, il se passe quelque chose de semblable avec le facteur de refroidissement du vent: lorsque le vent atteint des vitesses supérieures à 70 km/h, des augmentations supplémentaires n'entraînent que très peu ou pas d'augmentation du facteur de refroidissement du vent. De telles modifications du taux de changement se produisent dans le cadre de nombreux phénomènes naturels, tels la magnétisation du fer; elles affectent également la vie de l'homme. De quelle manière? Et bien, une personne qui double son revenu va généralement améliorer son niveau de vie de façon considérable. Cependant, si cette personne est déjà très riche, son niveau de vie ne changerait que très peu, voire même pas du tout; pour produire une modification sensible, il faudrait une très forte augmentation du revenu. De même, il faut de très fortes augmentations de la luminance pour obtenir de faibles augmentations de la RCS lorsqu'on dispose déjà d'une lumière abondante.

One feature of ESI that should be criticized is the fact that ESI values appear as magnitudes, implying that two installations having identical indices are equivalent to each other. In fact there is an infinite number of ways to achieve an ESI value. Let us assume that in installation A we have a searchlight located within the offending zone of the ceiling. This searchlight is providing 5000 lux on the task but because of the low Contrast Rendition Factor, this results in only 1000 ESI lux. Installation B, by avoiding the offending zone, produces 1200 lux on the task and because of the high CRF value 1000 ESI lux. Under these conditions, are A and B equivalent?

Une caractéristique quelque peu insatisfaisante du ESI, c'est le fait que les valeurs ESI sont données en valeurs absolues, ce qui implique que deux installations ayant des indices identiques sont parfaitement équivalentes. En fait, il y a un nombre pratiquement infini de façons permettant d'obtenir une valeur ESI donnée. Supposons par exemple que, dans le cadre de l'installation A, nous avons localisé un projeteur lumineux dans la région problématique du plafond. Ce projecteur projète 5 000 lux sur la tâche; pourtant, à cause du faible facteur de rendu du contraste, cela ne donne que 1 000 lux ESI. L'installation B, en évitant cette zone problématique du plafond, projète 1 200 lux sur la tâche, ce qui donne 1 000 lux ESI grâce à la valeur élevée du CRF. Dans ces conditions, les installations A et B sont-elles équivalentes?

This is an example of an extreme condition. Installations such as A are obviously wrong, the CRF values should simply not be allowed to fall below a certain minimum.

Ils s'agit ici d'un exemple dans des conditions extrêmes. Une installation telle que A est évidemment erronée; on ne doit simplement pas permettre aux valeurs CRF de descendre en-dessous d'un certain seuil.

Questions have also been raised as to the validity of the RCS curve, and its suitability to supra-threshold areas; and no doubt important improvements will occur in this evaluation system. Meanwhile, my experience convinces me that ESI is the most valuable single-number index of illumination that we possess at this time. In practical application the computer print-outs and measured values of ESI always make sense. When the values at some points are lower or higher than in neighboring points the reasons for such differences are usually evident. And the actual results of lighting systems designed and evaluated with this measurement system appear satisfactory to their users.

Certains se sont également interrogés sur la validité de la courbe de RCS, et sur son application aux domaines supraliminaux; des améliorations importantes seront sans doute apportées à ce système d'évaluation. Dans l'entretemps, il me semble, basé sur mon expérience personnelle, que le ESI est l'indice d'éclairage à un seul chiffre le plus utile dont on dispose actuellement. Lors des applications pratiques, on constate que les résultats fournis par l'ordinateur et les valeurs mesurées du ESI ont toujours du sens. Lorsque les valeurs à certains points sont soit inférieures soit supérieures à celles des points voisins, les raisons de ces différences sont généralement évidentes. De plus, les résultats effectifs des système d'éclairage conçus et évalués au moyen de ce système de mesure semblent bien satisfaire leurs utilisateurs.

Actually, I think the quality of office task lighting can be productively evaluated by a discerning person regardless of whether it is assessed by ESI or by EVI units, or by any similar soundly based system. In the end the discerning person tempers his evaluation by the results of his experience. With the exception of extreme conditions, which are rarely encountered in practice, I have found ESI to be a suitabel evaluation system.

En réalité, je pense que la qualité de l'éclairage des tâches de bureau puisse être évaluée, de manière productive, par une personne avertie, indépendamment du fait qu'elle soit évaluée en termes d'unités ESI ou EVI ou selon un autre système semblable, bien étayé. En fin de compte, la personne avertie adapte son évaluation pour tenir compte des résultats de son expérience personnelle. À l'exception des conditions extrêmes, fort rares dans la pratique, j'ai constaté que l'indice ESI représente un système d'évaluation approprié.

One of its advantages in the everyday world is its exaggerative quality. To those wary of the exaggerative aspect of ESI I offer that this very exaggeration is an **advantage** in the everyday world of lighting specification. A man who is building a new office space for his employees may well shrug off an EVI difference between 55 and 61. But if he sees an ESI difference between 226 and 588 he will more likely take notice, and seriously ponder spending perhaps $2.00 a square meter more for his building to improve the lighting. And if this results in even minor improvements in the work rate or accuracy such an extra investment will be well spent. In this respect the rate of change of ESI may be closer to expressing the reality of the payback which is the ultimate criteria in the market place.

L'un de ses avantages, dans le monde quotidien réel, c'est sa qualité d'exagération. À ceux qui se méfient de l'aspect exagérant de l'indice ESI, je répliquerais que cette même exagération représente un **avantage** dans le monde réel de spécifications de l'éclairage. Quelqu'un qui construit de nouveaux locaux de bureau pour ses employés va peut-être ignorer sans plus un écart EVI de 55 à 61. Par contre, s'il voit un écart ESI de 226 à 558, il devient dès lors plus probable qu'il se penchera sur le problème et qu'il voudra peut-être dépenser quelques $2,00 par mètre de plus pour son immeuble, afin d'en améliorer l'éclairage. Si cela entraîne des améliorations, même mineures, de la cadence ou de la précision du travail, cet investissement supplémentaire aura été bénéfique. Sous cet aspect, le taux de changement ESI est peut-être plus proche de la réalité du rendement, qui, après tout, est l'ultime critère du marché.

SECOND
What is the best way to study and compare different kinds of fixtures in different layouts?

DEUXIÈMEMENT
Quelle est la meilleure manière d'étudier et de comparer divers types de lampes, agencés de diverses façons?

In 1959 I developed a graphical method to evaluate ESI. Today we live in a different world. Computer programs are as much a part of the daily lives of engineers as toothbrushes, and are unquestionably the logical analytical tool for lighting application investigation. In our experience a thorough study of the practical alternatives for lighting an office interior often entails six or more different luminaire types and three or more different layouts so that eighteen or more assessments are required.

En 1959, j'ai élaboré une méthode graphique pour évaluer le ESI. Or, aujourd'hui, nous vivons dans un monde différent. Les programmes informatiques font partie de la vie quotidienne des ingénieurs; il s'agit là, sans aucun doute, de l'instrument analytique de choix pour étudier les applications dans le domaine de l'éclairage. D'après notre expérience, une étude approfondie des possibilités pratiques d'éclairage d'un bureau exige souvent six types de luminaires différents ou plus ainsi que trois dispositions différentes ou plus; dix-huit évaluations ou plus sont donc nécessaires.

Our own practice has been deliberately limited to reflector type luminaires with a precise cut-off angle. In the United States this kind of fixture is rapidly becoming the favored means of lighting office interiors where illumination quality and operational efficiency are the dominant considerations.

Notre propre pratique a été délibérément restreinte aux luminaires à réflecteurs ayant un angle de défilement précis. Aux États-Unis, ce type de lampe est aujourd'hui en passe de devenir le moyen préféré d'éclairage des bureaux, où les principales considérations sont la qualité de l'éclairement ainsi que le rendement opérationnel.

When luminaires with a sharp cut-off at not more than 60° from nadir are installed in a large space on a regular grid layout it will be found that they form a pattern of ESI values that for all practical purposes is the same in each modular unit area containing a single luminaire. The pattern is repeated over and over throughout the room except for the areas near the walls. Quite often in large rooms these areas near the walls are not significant because the usage changes. There may be windows, or traffic lanes, or storage files, making the determination of ESI values irrelevant.

Lorsqu'on installe des luminaires ayant un angle de défilement bien défini, à pas plus de 60° du nadir, dans un local de grandes dimensions, selon une configuration de grille régulière, on constate que ces luminaires forment une configuration de valeurs ESI qui, à toutes fins pratiques, est la même dans chaque zone d'unité modulaire contenant un seul luminaire. Cette configuration se répète systématiquement dans toute la pièce, à l'exception des zones près des murs. Or, très souvent, dans les pièces de grandes dimensions ces zones proches des murs ne sont pas significatives parce que leur utilisation change. On y trouvera des fenêtres, des voies de passage ou des classeurs, ce qui rend superflue la détermination des valeurs ESI.

Since the ESI pattern repeats, and since the perimeter area can usually be ignored, it becomes practical to use a computer program that includes the contribution of each and every luminaire in the room but calculates and prints out ESI values for only the points in a single central module. With this procedure and without photo-reduction our entire print-out for a large room usually fits on a letterhead size sheet of paper, including an abbreviated economic analysis giving initial, annual and present-worth costs. We have found the convenience of this format to be of great practical help in making a comparative study of the usual multiplicity of possible solutions for lighting a particular space.

Vu que la configuration ESI se répète, et que l'on peut généralement négliger la zone périmétrale, il devient dès lors pratique d'utiliser un programme d'ordinateur qui tienne compte de la contribution de chaque luminaire de la pièce, mais qui ne calcule et n'imprime des valeurs ESI que pour les points situés dans un seul module central. Grâce à ce procédé, et sans photoréduction, tous nos résultats informatiques pour une pièce de grandes dimensions tiennent généralement dans une seule feuille de papier, grandeur en-tête, y compris une brève analyse économique précisant les coûts initiaux, annuels et actualisés. Ce format nous a été d'une grande utilité pratique lorsqu'il s'agissait de faire une étude comparant la vaste gamme de solutions possibles pour l'éclairage d'un espace particulier.

The program prints point-by-point illumination values as well as ESI values. It can additionally include CRF values, and alternatively present EVI values. These are all given at the designated points and, except for illumination, in N-S and E-W directions as well as at any intermediate angles. Where values near walls are required we usually print out a swath one module wide extending from wall to wall, while in the case of small offices we do the entire portion of the room in which working surfaces might be located. The program also handles asymetric luminaire distributions, and works in either English or metric units.

Le programme imprime, point par point, des valeurs d'éclairement ainsi que des valeurs ESI. De plus, il peut inclure des valeurs CRF, ou alors présenter des valeurs EVI. Ces valeurs sont toutes précisées aux points désignés et, à l'exception de l'éclairement, dans les directions nord-sud et est-ouest ainsi qu'à des angles intermédiaires. Lorsqu'il faut obtenir des valeurs près des murs, nous imprimons généralement une bande dont la largeur équivaut à celle d'un module, d'un mur à l'autre, tandis que dans le cas de petits bureaux nous faisons imprimer toute la partie de la pièce qui contient des surfaces de travail. Le programme peut également traiter les répartitions de luminaires asymétriques et utilise des unités soit anglaises soit métriques.

The result is an investigative tool far more useful than the yards of information generated by some of the ESI computer programs. Indeed, we have found the convenience of this compact format to be of great practical help in making a comparative study of the many possible solutions for lighting a space.

Résutat: c'est un instrument d'étude beaucoup plus utile que la multitude d'informations générés par certains programmes informatiques ESI. En effet, nous avons constaté que ce format compact est d'une grande utilité pratique lorsqu'on veut faire une étude comparative des nombreuses solutions d'éclairage d'une espace.

THIRD

Regardless of the measurement system and the investigative system of final choice, the practical question remains of what kind of fixtures best realize good quality illumination in typical office spaces in the most economical way.

TROISIÈMEMENT

Indépendamment du système de mesure et du système d'évaluation chosis en définitive, la question pratique demeure toujours: quels genres de lampes permettent de réaliser au mieux un éclairement de qualité dans les locaux de bureau types, et de la façon la plus économique?

In my own practice I have been concerned with fluorescent luminaires using reflector systems for flux control since 1959. In 1975 this led to the development of several luminaire designs for the Social Security buildings of the General Service Administration in Baltimore. These designs successfully combine three features: the virtual absence of direct glare, a pronounced 'bat-wing' flux distribution, and a very high efficiency. The design which was actually used achieved the goal of giving good task contrast in any location and direction when installed on a regular grid layout.

Dans l'exercice du métier, je me suis occupé, depuis 1959, du problème des luminaires fluorescents utilisant des systèmes à réflecteurs pour contrôler le flux. En 1975, cela a permis la mise au point de plusieurs conceptions de luminaires pour les immeubles de l'assistance sociale de la General Service Administration, à Baltimore. Ces conceptions ont réussi à combiner trois caractéristiques: la véritable absence d'éblouissement direct, une répartition du flux en "aile de chauve-souris", et une très grande efficacité. La conception qui a été effectivement adoptée permet d'assurer un bon contraste de tâche à n'importe quel endroit et dans n'importe quelles direction, une fois installée selon un agencement de grille régulière.

Currently, there is a belief in some quarters that contrast is independent of fixture flux distribution, or that at best bat-wing distribution can only increase contrast in viewing direction parallel to the length of the luminaire. The computer print-outs in the Appendix numbered 2 to 7 show that, in point of fact, the task contrast is deeply and fundamentally related to the fixture distribution, and further that **broad** bat-wing distributions improve contrast in both directions and at most locations. These print-outs are summarized in table 1.

Certains croient aujourd'hui que le contraste ne dépend pas de la répartition du flux lumineux du luminaire, ou que, au mieux, une répartition en "aile de chauve-souris" ne peut augmenter le contraste que dans les directions de vision parallèles à la longueur du luminaire. Les imprimés informatiques 2 à 7 figurant en annexe montrent qu'en réalité le contraste de tâche est étroitement lié à la répartition du flux du luminaire, et que, de plus, les répartitions en aile de chauve-souris **large** améliorent le contraste dans les deux sens et dans la plupart des endroits. Ces imprimés sont résumés dans le tableau 1.

MFR/ FAB	FIXT/ LUM	NORTH-SOUTH/ NORD-SUD MAX/ MAX	MIN/ MIN	% DEV/ % ÉCART	EAST-WEST/ EST-OUEST MAX/ MAX	MIN/ MIN	% DEV/ % ÉCART	AV/ MOY	% DEV/ % ÉCART
EP	22134	740	420	129	689	323	161	549	140
EP	DF7	850	689	43	829	247	280	646	140
EP	DF10V	678	463	75	667	301	183	527	118
LL	68533	667	75	506	527	172	258	355	387
HOL	8224	538	215	258	592	269	194	441	226
COL	DP-240	646	204	280	538	247	194	420	237

1.8 m x 1.8 m fixture spacing

Table 1: Effect of distribution on ESI

The fixture identified No. 22134, which is the fixture installed in the Social Security buildings, is used as a norm in this print-out series. The output of each of the other fixtures is adjusted in the print-out to provide the same average illumination in 'classical' lux as does the norm. In this way the effect of the flux distribution on contrast is isolated from the fixture's efficiency and its maintenance factor.

The next practical question in using bat-wing fixtures is the effect of different spacings on task contrast. The print-outs numbered 8 to 14 and the table 2 shows the result of varying a square layout grid from 1.22 x 1.22 m to 4.27 x 4.27 m on center, using the No. 22134 Social Security fixture.

Espacement des luminaires 1,8 m x 1,8 m

Tableau 1: Effet de la répartition sur le ESI

Le luminaire nº 22134, qui est justement celui installée dans les immeubles de l'assistance sociale, sert de norme dans cette série d'imprimés informatiques. La sortie de chacun des autres luminaires est ajustée sur cet imprimé pour donner le même éclairement moyen, en lux "classiques", que le luminaire standard. Ainsi, on parvient à isoler de l'efficacité et du facteur d'entretien du luminaire l'effet que la répartition du flux a sur le contraste.

La question d'ordre pratique suivante, en ce qui concerne les lampes à "aile de chauve-souris", c'est de savoir quel est l'effet de divers espacements sur le contraste de tâche. Les imprimés 8 à 14 et le tableau 2 montrent les résultats lorsqu'on fait varier une grille d'agencement carré de 1,22 x 1,22 m à 4,27 x 4,27 m, centrée, en se servant de la lampe nº 22134 de l'assistance sociale.

	1.2x1.2	1.5x1.5	1.8x1.8	2.1x2.1	2.4x2.4	3.0x3.0	4.3x4.3
ESI AV/ESI MOY	538	538	538	549	560	624	742
ESI MAX/ESI MAX	667	710	710	710	796	1173	1915
ESI MIN/ESI MIN	463	387	312	237	215	97	43
AV DEV/ÉCART MOY	54	108	151	172	237	441	549
FC ADJ/ADJ FC	775	764	764	764	764	775	775
AREA FACTOR/ FACTEUR DE ZONE	.444	.694	1.000	1.361	1.778	2.778	5.444

Table 2: ESI study series
Effect of increased spacing

Tableau 2: Série d'études ESI
Effet des espacements augmentés

As in the preceding study, the average lumen/sqare meter value at each spacing is made equal to the 1.5 m x 1.5 m value by applying an appropriate multiplying factor to the luminaire candlepower values, in order to isolate the effect of spacing on ESI. It is interesting that the ESI when averaged in both directions scarcely changes over this wide range of grid sizes, because with increasing fixture separation the deterioration in contrast in some locations and viewing directions is more than neutralized by improvement elsewhere. This illustrates the danger of averaging ESI, and also shows that to achieve approximately equal task visibility at all locations and from all directions the spacing ratios must remain small. We believe the spacing using a square grid should be no greater than the height of the ceiling over the task. At this spacing, and in view of energy considerations, one-lamp fixtures are usually most suitable.

About 44,000 of the one-lamp No. 22134 units were used in the Baltimore Social Security buildings on staggered 1.5 m x 1.5 m centers, while concurrently similar type No. 22395 units went into two other Federal buildings using a 1.5 m x 3.0 m staggered patter. While these projects were still in progress the first installation using this bat-wing development was completed in the engineering office of Joseph R. Loring and Associates in New York City. About 500 No. 22395 units are installed on 1.5 m x 1.8 m centers, largely in drafting areas with the drawing boards also located on 1.8 m centers and placed perpendicular to the lamps. The table 3 gives data on these three projects.

Comme dans l'étude précédente, la valeur moyenne en lumen/m^2, pour chaque espacement, est rendue équivalente à la valeur pour l'espacement de 1,5 m x 1,5 m en multipliant les valeurs d'intensité lumineuse (en candelas) du luminaire par le facteur approprié, afin d'isoler l'effet de l'espacement sur le ESI. Il est intéressant de noter que lorsqu'on prend la moyenne du ESI dans les deux sens, il y a très peu de changement malgré cette gamme très large de grandeurs de grille, et ce parce qu'à mesure que l'on sépare davantage les lampes, la détérioration du constraste à certains endroits et dans certaines directions de vision est plus que neutralisée par les améliorations qui se produisent ailleurs. Ceci illustre bien le danger qu'il y a lorsqu'on prend la moyenne du ESI; on voit aussi que, pour obtenir une visibilité de tâche à peu près égale à tous les endroits et dans tous les sens, les rapports d'espacement doivent rester faibles. Nous croyons que l'espacement dans le quadrillage ne doit pas dépasser celui entre le plafond et la tâche. À cet espacement, et compte tenu des considérations énergétiques, les luminaires à une seule ampoule sont généralement les plus adéquats.

Quelques 44 000 unités nº 22134 à une lampe ont été utilisées dans les immeubles de l'assistance sociale à Baltimore, centrées de façon échelonnée à 1,5 m x 1,5 m, tandis que des unités nº 22395 d'un type similaire étaient utilisées dans deux autres immeubles du gouvernement fédéral, selon une configuration échelonnée de 1,5 m x 3,0 m. Tandis que ces projets étaient encore en train d'être exécutés, la première installation à utiliser cette configuration en "aile de chauve-souris" était achevée dans les bureaux de génie de Joseph R. Loring and Associates, à New York. Quelques 500 unités nº 22395 y ont été installées, centrées à 1,5 m x 1,8 m, surtout dans des zones de dessin, les tables de dessin étant elles aussi centrées à 1,8 m et placées perpendiculairement aux lampes. Le tableau 3 présente des données relatives à ces trois projets.

	m^2/Unit/ m^2/unité	l/m^2/ l/m^2	ESI NS/ ESI NS	ESI EW/ ESI EO	ESI AV/ ERI MOY	W/m^2/ W/m^2
Baltimore S.S.	2.32	1162	893	699	796	18.94
Norfold & Columbia	4.64	566	430	344	387	9.47
Joseph R. Loring	2.79	753	560	441	506	16.46

Table 3: Computed values

Tableau 3: Valeurs calculées

The Loring project used light finishes on floors and furniture, a desireable provision with fixtures of sharp cut-off to relieve facial shadows by brightening the ceiling. The partitions enclosing department heads are only 1.22 meters high which does not cause any problem of shadowing work surfaces. Despite the exacting visual demands of drafting tasks, no desk lamps are in use.

Not at least in importance to the lighting in this space are the red columns and green plants. Such decorative touches in an otherwise austere space make people feel better about themselves, which in turn makes them see and work better. We engineers should not forget the teachings of Western Electric's classic Hawthorne experiment begun in 1927. This established that while productivity increased with increased illumination it also increased with decreased illumination, right down to a 32 lux level. At this point people complained that they could barely see. Yet **still** their productivity remained at the maximum, leading to the discovery that what really regulated the productivity was the employee's feeling of self-esteem in being part of a management experiment. We should learn to leaven our algebra with humanistic equations.

Le projet Loring untilise des finis clairs sur le plancher et le mobilier; c'est une bonne idée avec les luminaires à angle de défilement aigu, puisqu'il permet de réduire les ombres faciales en illuminant davantage le plafond. Les cloisons entourant les chefs de département sont hautes de seulement de 1,22 mètre, ce qui évite le problème des ombres que les cloisons risquent de projeter sur les surfaces de travail. Malgré les fortes exigences visuelles des tâches de dessin, on n'y utilise pas des lampes de table.

Les colonnes rouges et les plantes vertes, elles aussi, jouent un rôle important en ce qui concerne l'éclairage de ces locaux. Ces mesures décoratives dans un espace par ailleurs assez austère remontent le moral des gens, ce qui leur permet de voir mieux et de travailler plus efficacement. En tant qu'ingénieurs, nous ne devons jamais oublier les conclusions de l'expérience classique de Hawthorne (Western Electric), commencée en 1927. Cette expérience a établi que la productivité augmentait lorsqu'on augmentait l'éclairement, elle augmentait aussi lorsqu'on diminuait l'éclairement, et continuait d'augmenter jusqu'à ce que l'on ait diminué l'éclairement au niveau de 32 lux. À ce moment-là, les gens se plaignaient qu'ils arrivaient à peine à voir quelque chose. Pourtant, leur productivité **restait encore** maximale, ce qui a permis de constater que ce qui déterminait la productivité était en fait la conscience de soi de l'employé qui se savait participant à une expérience de gestion. Conclusion: nous devons savoir entrelacer d'équations humanistes nos calculs algébriques.

The last photograph in this Loring series expresses the bat-wing effect from a new direction. This desk-eye view shows light reaching a task location from twenty different fixtures. Under these circumstances the illumination originating in the offending zone is simply overwhelmed.

La dernière photo de cette série de Loring exprime l'effet "aile de chauve-souris" dans une nouvelle direction. Cette vue au niveau de l'oeil du travailleur assis à son bureau montre la lumière qui arrive à l'endroit de la tâche à partir de vingt luminaires différents. Dans ces circonstances, l'éclairage provenant de la zone problématique est tout simplement noyé.

The kind of fixture used on the Baltimore Social Security project has since been developed to include two-lamp designs, a lamp focusing provision that reduces the breadth of the bat-wing for small offices, off-set lamp arrangements that produce asymetric beams, and modifications for illuminating vertical surfaces as in library stack areas. On the practical side the design is just 150mm high, and can employ electrical interconnect systems to simplify the use of efficient two-lamp ballasts with the one-lamp fixtures. Happily, such fixtures are now manufactured in Western Europe, North America and Japan.

Le type de luminaire utilisé dans le cadre du projet de l'assistance sociale à Baltimore a depuis évolué; il comprend maintenant des conceptions à deux lampes, un système focalisateur de lampes permettant de réduire la largeur de "l'aile de chauve-souris" pour les petits bureaux, une disposition compensatrice des lampes qui produit des faisceaux asymétriques, ainsi que des modifications permettant d'éclairer les surfaces verticales telle les étalages de livres des bibliothèques. Avantage pratique: l'appareil n'a que 150 mm de haut et peut utiliser des systèmes d'interconnexion électrique pour simplifier l'utilisation d'un ballast efficace pour deux lampes avec les luminaires à une seule lampe. Heureusement, des luminaires de ce type sont actuellement fabriqués en Europe occidentale, en Amérique du Nord et au Japon.

In small offices there are not twenty fixtures, and the rules change. The few fixtures that are instead used **must** be located and oriented in relation to the task position and the viewing direction. Too often the architect's insistence on modularity decreases the contrast-rendering potential of the illumination by putting fixtures where they don't belong. Three pairs of print-outs expressing right and wrong ways to light small offices are numbered 15 to 20 in the Appendix and summarized in the sketches in figures 1 and 2 for 3 square meters offices.

Dans les petits bureaux, il n'y a pas vingt luminaires, et les règles changent. Les luminaires en nombre limité qu'on y trouve **doivent** donc être localisés et orientés par rapport à la position de la tâche et à la direction de vision. Il arrive souvent que l'insistence de l'architecte sur le caractère modulaire des choses réduise le potentiel de rendu du contraste de l'éclairement, en plaçant les luminaires au mauvais endroit. Trois paires d'imprimés illustrant des façons correctes et incorrectes d'éclairer les petits bureaux, numérotés de 15 à 20 dans l'annexe, sont résumés dans les diagrammes des figures 1 et 2, qui représentent des bureaux carrés de 10 mètres.

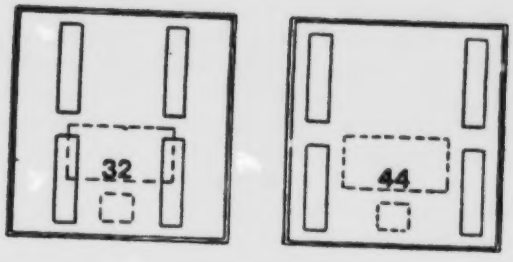


Figure 1: Above shows the effect on ESI of shifting the fixtures 38 cm out from the module center line.

Figure 1: Le diagramme ci-dessus indique l'effet que peut avoir sur le ESI le fait de déplacer les luminaires de 38 cm par rapport à l'axe central du module.

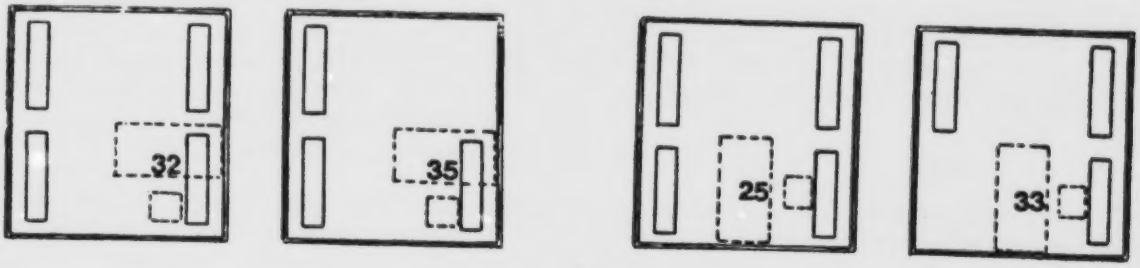


Figure 2: Above shows how offending fixtures deteriorate contrast and reduce ESI.

Figure 2: Le diagramme ci-dessus indique comment les luminaires mal placés nuisent au contraste et réduisent le ESI.

The digits give weighted ESI averages taken from the task area on the desk and the first pair of sketches show the substantial gain that comes from moving the fixtures away from the module centers where they are routinely located. The second and third pairs, showing the effect of negative light, prove that energy conservation does not always raise first costs. They also provide an interesting example of Mies's dictum "Less is More", and they establish that sometimes the offending zone can become downright insulting.

Les chiffres indiquent les moyennes ESI pondérées, à partir de la région où se fait la tâche sur le bureau, tandis que la première paire de dessins précisent le gain substantiel que l'on peut réaliser en éloignant les luminaires des centres des modules où ils se trouvent normalement. Les deuxième et troisième paires, qui montrent l'effet de la lumière négative, démontrent que la conservation de l'énergie n'entraîne pas toujours une augmentation des coûts premiers. Elles fournissent également un exemple très pertinent du dicton de Mies: "Moins, c'est plus". Elles montrent aussi que la zone problématique peut parfois devenir carrément catastrophique.

These last sketches also show a recurrent problem besetting high-contrast task lighting in offices of all sizes. Where the end of a desk abuts a wall we cannot put a fixture above and beyond the end of the desk where it belongs, because the wall is in the way. If the wall is white and at the right distance from the nearest row of fixtures it will intercept the bat-wing and reflect some light toward the task from a favorable angle.

But a better solution is to mount a luminaire on the wall itself. The luminaire should be designed to project light over the entire length of the desk when mounted about two feet over the desk top, and may advantageously include an upward component to illuminate the ceiling.

In small offices the wall mounted fixture must be complemented by one or two recessed fixtures located past the opposite end of the desk to provide light from the most favorable angle. I should mention that Howard Brandston was the consultant for this installation.

FOURTH

The last step in the application of the ESI system to office lighting is to check the performance of an installation so designed.

Two pieces of equipment were developed in the 1970's that have proven valuable in this regard: H.R. Blackwell's Visual Task Photometer and David DiLaura's Series 1000 Contrast/ESI Meter. We employed both to take measurements at the Joseph R. Loring office shortly after completion of the installation in 1978. To insure that no daylight would influence our readings the tests were made at night; and to insure locational precision the readings were made at points defined by hanging a plumb bob from the ceiling.

Ces derniers diagrammes révèlent également un problème courant qui affecte l'éclairage de tâches à fort contraste dans les bureaux de toutes tailles. Lorsque l'extrémité d'un bureau est placée contre un mur, on ne peut pas placer un luminaire au-dessus de cette extrémité et au-delà de celle-ci, où il devrait en fait se trouver, parce que le mur nous en empêche. Si le mur est blanc et qu'il se trouve à la bonne distance de la rangée de luminaires la plus proche, il interceptera "l'aile de chauve-souris" et reflétera une partie de la lumière vers la tâche, sous un angle favorable.

Cependant, une meilleure solution est de monter un luminaire sur le mur lui-même. Le luminaire devrait être conçu de manière à projeter la lumière sur toute la longueur du bureau, lorsque le luminaire est installé à environ deux pieds au-dessus du bureau; il peut parfois être avantageux d'inclure une composante orientée vers le haut, pour éclairer le plafond.

Dans les petits bureaux, les luminaires muraux doivent être suppléés d'un ou de deux luminaires encastrés au-delà de l'extrémité opposée du bureau, afin de fournir de la lumière sous l'angle le plus favorable. Je veux mentionner encore que Howard Brandston était l'expert-conseil chargé de cette installation.

QUATRIÈMEMENT

La dernière étape de l'application du système ESI à l'éclairage de bureau consiste à vérifier la performance d'une installation conçue selon cette méthode.

Deux appareils mis au point au cours des années 1970 se sont révélés fort utiles dans ce domaine: le photomètre pour tâches visuelles, de H.R. Blackwell, et l'instrument de mesure de contraste/ESI de la série 1000, de David DiLaura. Nous avons utilisé ces deux instruments pour faire des mesures dans le bureau Joseph R. Loring peu après l'achèvement de l'installation en 1978. Pour être sûrs que la lumière du jour ne pourrait influer sur nos mesures, les essais ont été effectués la nuit; pour assurer une localisation précise, on a suspendu un fil à plomb aux points du plafond où on allait effectuer les lectures.

Our measurements with the Visual Task Photometer were performed by Paul Smester using the instrument owned by ETL Laboratories; and the measurements with the DiLaura meter were performed by David Di Laura himself. Indeed, it took some effort to persuade these gentlemen to participate in the testing, each assuring us that their measured values would almost certainly not agree either with each other or with our prediction. The generally excellent agreement in table 4 refutes their pessimism:

Nos mesures avec le photomètre pour tâches visuelles ont été effectuées par Paul Smester au moyen de l'instrument appartenant aux laboratoires ETL, tandis que les mesures prises au moyen de l'instrument DiLaura ont été effectuées par David DiLaura lui-même. En fait, on a eu du mal à persuader ces messieurs à participer aux essais, car chacun d'eux nous a assuré que leurs valeurs mesurées ne correspondront presque certainement pas entre elles ni aux valeurs prévues par nous. Or, la concordance généralement excellente qu'indique le tableau 4 réfute leur pessimisme:

POINT & DIRECTION/ POINT ET DIRECTION	GOODBAR PROGRAM/ PROGRAMME GOODBAR	VISUAL TASK PHOTOMETER/ PHOTOMÈTRE POUR TÂCHES VISUELLES	DiLAURA ESI METER/ INSTRUMENT ESI DiLAURA
A L	495	484	506
C	441	398	420
B1 L	366	366	398
C	635	527	581
B2 L	732	659	603
C	269	269	247
C L	689	603	527
C	484	473	441

Table 4: Joseph R. Loring & Ass. Drafting Space

Tableau 4: Locaux de dessin de la Joseph R. Loring & Ass.

For luminance and illuminance measurements we have found the new digital Minolta equipment quite exceptional in combining accuracy and useful operational features with portability. We now intend to adapt our DiLaura meter to fit the Minolta illuminance instrument.

Pour la mesure de la luminance et de l'éclairement, nous avons constaté que le nouveau matériel numérique Minolta était exceptionnellement bien adapté, étant à la fois précis, portatif et doté de caractéristiques de fonctionnement utiles. Nous envisageons maintenant d'adapter notre instrument DiLaura à l'instrument d'éclairement Minolta.

And finally there is the new contrast meter made by Brüel & Kjaer. This interesting development, working somewhat on the principle of the Visual Task Photometer, reached us too late for us to include another set of Loring measurements in this presentation. The ready applicability of the B&K meter to angled work surfaces will permit a closer approach to the reality of the actual task condition in this installation.

Enfin, il y a le nouvel instrument de mesure du contraste fabriqué par Brüel & Kjaer. Cet appareil fonctionne plus ou moins selon le même principe que le photomètre pour tâches visuelles, nous est parvenu trop tard pour inclure, dans le présent document, un ensemble supplémentaire de mesures Loring. La facilité d'application de l'instrument B&K aux surfaces de travail inclinées permettra de s'approcher davantage de la réalité en ce qui concerne les conditions de tâches réelles dans le cadre de cette installation.

SUMMARY

At this point in time I believe that the way to assure office task lighting with maximum visibility, comfort, and efficiency is to use ESI as the criterion in computer studies of possible fixtures and layouts. I have found the most useful fixture in large offices is the single lamp reflector flux control type with broad bat-wing distribution mounted on regular centers, about equal to the height over the task. In small offices fixtures with narrower bat-wings are often preferable, and should be located on an individual basis to maximize ESI.

Whatever the luminaire and the layout, a check of the completed installation with appropriate contrast measuring instruments will confirm the validity and the suitability of the ESI procedure in office lighting.

SOMMAIRE

Il me semble actuellement que la meilleure façon d'assurer un éclairage des tâches de bureau qui permette une visibilité, un confort et une efficacité maximaux est d'utiliser ESI en tant que critère de base pour l'étude informatique des luminaires et des agencements possibles. J'ai constaté que le luminaire le plus utile dans les bureaux de grande dimension est celui à rélecteur à une seule lampe, du type permettant de régler le flux, avec une répartition de la lumière en "aile de chauve-souris" large, ces luminaires étant installés à des distances centrées à peu près égales à la hauteur du luminaire au-dessus de la tâche. Dans les petits bureaux, les luminaires avec des "ailes de chauve-souris" plus étroites sont souvent préférables; afin de maximiser le ESI, on doit les positionner de façon individuelle.

Quel que soit le luminaire et la disposition adoptés, une vérification de l'installation achevée (au moyen des instruments de mesure du contraste appropriés) confirmera la validité et l'applicabilité de la méthode ESI en ce qui concerne l'éclairage de bureau.

NOTE: All units are in imperial units

NOTE: Une tranche faite en section

ESIEVI 18:23 01/21/82 THURSDAY 106-61

TABLE I : ERI VALUES AS A FUNCTION OF BACKGROUND LUMINANCE AND CRF

CRF	.70	.75	.80	.85	.90	.95	1.00	1.05	1.10	1.15
100	43.6	46.7	49.8	52.9	56.0	59.1	62.2	65.3	68.5	71.6
100	66	86	111	146	198	271	370	514	738	1016
200	47.9	51.4	54.8	58.2	61.6	65.1	68.5	71.9	75.3	78.8
200	96	126	175	247	349	499	740	1050	1555	2239
300	50.7	54.3	57.9	61.5	65.1	68.8	72.4	76.0	79.6	83.2
300	119	167	240	345	504	763	1110	1674	2467	3679
400	52.4	56.2	59.9	63.6	67.4	71.1	74.9	78.6	82.4	86.1
400	139	202	293	428	654	970	1481	2207	3347	5090
500	53.9	57.7	61.6	65.4	69.3	73.1	77.0	80.8	84.7	88.5
500	161	235	346	518	805	1212	1851	2817	4321	6623
600	55.1	59.0	62.9	66.9	70.8	74.7	78.7	82.6	86.5	90.5
600	181	268	398	616	939	1462	2221	3442	5338	8200
700	56.0	60.0	64.0	68.0	72.0	76.0	80.0	84.0	88.0	92.0
700	198	296	445	704	1063	1677	2591	4016	6267	9748
800	56.9	60.9	65.0	69.1	73.1	77.2	81.2	85.3	89.4	93.4
00	216	326	496	789	1214	1894	2961	4661	7299	11588
900	57.6	61.7	65.9	70.0	74.1	78.2	82.3	86.4	90.6	94.7
900	233	353	546	865	1358	2108	3331	5275	8267	13617
1000	58.3	62.5	66.6	70.8	75.0	79.1	83.3	87.5	91.6	95.8
1000	250	379	599	939	1496	2337	3702	5893	9312	15771
1100	58.9	63.1	67.3	71.5	75.7	79.9	84.1	88.3	92.5	96.8
1100	264	405	647	1010	1621	2560	4072	6500	10392	18150
1200	59.4	63.7	67.9	72.2	76.4	80.7	84.9	89.2	93.4	97.6
1200	280	429	697	1084	1751	2780	4442	7129	11537	20890
1300	59.9	64.2	68.5	72.8	77.0	81.3	85.6	89.9	94.2	98.4
1300	294	454	741	1163	1867	2995	4812	7703	12725	23893
1400	60.4	64.7	69.0	73.3	77.6	82.0	86.3	90.6	94.9	99.2
1400	308	481	785	1245	1985	3193	5182	8295	14013	28073
1500	60.8	65.2	69.5	73.9	78.2	82.6	86.9	91.3	95.6	100.0
1500	322	506	827	1329	2112	3426	5552	8940	15389	36126

VALUES ON LEFT COLUMN ARE LUMINANCES IN CANDELAS PER SQUARE METER

UPPER VALUES ARE EQUIVALENT VISIBILITY INDEXES (1500 CANDELAS PER SQUARE METER AND CRF=1 PROVIDE A VISIBILITY INDEX OF 100)

LOWER VALUES ARE EQUIVALENT REFERENCE ILLUMINANCE (ERI) IN LUX

PROGRAM: EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION 21 JANUARY 1982

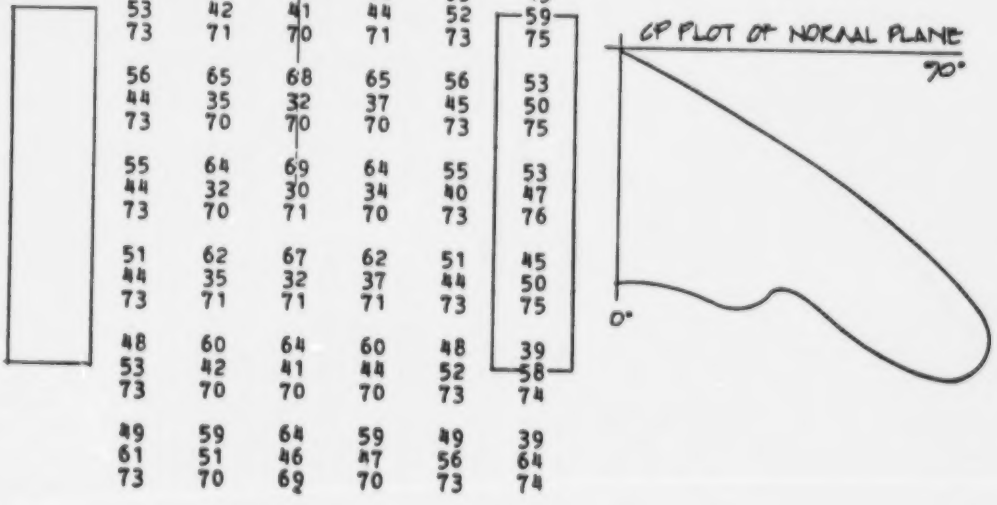
PROJECT: DISTRIBUTION EFFECT ON E.S.I.
CLIENT : NONE

FIXTURE: VISIONAIR 22134 B2 MFR: EDISON PRICE EFFICIENCY .795
LAMP: 1-F40WW/S MA OR V 430, LUMENS 3250 INPUT WATTS 44

ROOM: LENGTH x WIDTH x HEIGHT 36.00 x 36.00 x 8.50
FIXTURE HEIGHT 8.50 TASK HEIGHT 2.50
RCR 1.67 FLOOR CAVITY REFLECTANCE .19
CEILING, WALL & FLOOR " " .80 .50 .20

MISC: SPACING: 6 ROWS 6.00 FT OC x 6 FIXTURES 6.00 FT OC
CEILING, WALL & FLOOR LUMINANCE 11 16 12
NO AIR COOLING 1.000 SQ FT/FIXTURE 36.00 WATTS/SQ FT 1.22
LAMP DEPRECIATION .91 YRS/REPLACEMENT 3.00
DIRT " " .94 " /CLEANING 6.00

FC & ESI SUMMARY:	FOOTCANDLES (RAW)	EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION NORTH-SOUTH	EAST-WEST	BOTH
AVERAGE	72	57	45	51
MAXIMUM	76	69	64	69
MINIMUM	69	39	30	30
AV. DEVIATION %	2	12	15	13
L/W -- ESL/W	59	46	37	42



UPPER FIGURES ARE ESI VALUES LOOKING LENGTHWISE NORTH
MIDDLE " " " " " CROSSWISE WEST
LOWER " " LUMENS/SQ FT (FC) - NO BODY SHADOW
COMPUTED PTS 1.00 OC NS x 1.00 EW -

PROGRAM: EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION 22 JANUARY 1982

PROJECT: DISTRIBUTION EFFECT ON ESI
CLIENT : NONE

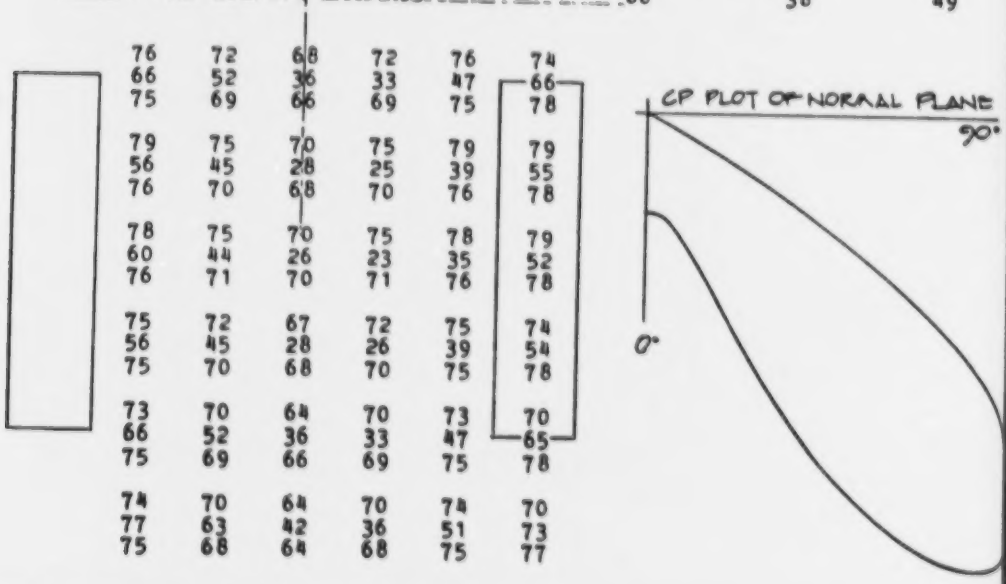
FIXTURE: DF7 MFR: EDISON PRICE EFFICIENCY .580
LAMP: 1-F40WW/S MA OR V 430, LUMENS 3250 INPUT WATTS 44

ROOM: LENGTH x WIDTH x HEIGHT 36.00 x 36.00 x 8.50
FIXTURE HEIGHT 8.50 TASK HEIGHT 2.50
RCR 1.67 FLOOR CAVITY REFLECTANCE .19
CEILING, WALL & FLOOR " " .80 .50 .20

MISC: SPACING: 6 ROWS 6.00 FT OC x 6 FIXTURES 6.00 FT OC
CEILING, WALL & FLOOR LUMINANCE 11 18 12
EQUALIZER FACTOR 1.370 SQ FT/FIXTURE 36.00 WATTS/SQ FT 1.22
LAMP DEPRECIATION .91 YRS/REPLACEMENT 3.00
DIRT " " .94 " /CLEANING 6.00

FC & ESI SUMMARY:

	FOOTCANDLES (RAW)	EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION NORTH-SOUTH	EAST-WEST	BOTH
AVERAGE	72	73	47	60
MAXIMUM	78	79	77	79
MINIMUM	64	64	23	23
AV. DEVIATION %	5	4	26	13
L/W -- ESL/W	.59	.60	38	49



UPPER FIGURES ARE ESI VALUES LOOKING LENGTHWISE NORTH
MIDDLE " " " " CROSSWISE WEST
LOWER " " LUMENS/SQ FT (FC) - NO BODY SHADOW
COMPUTED PTS 1.00 OC NS x 1.00 EW

PROGRAM: EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION 21 JANUARY 1982

PROJECT: DISTRIBUTION EFFECT ON E.S.I.
CLIENT : NONE

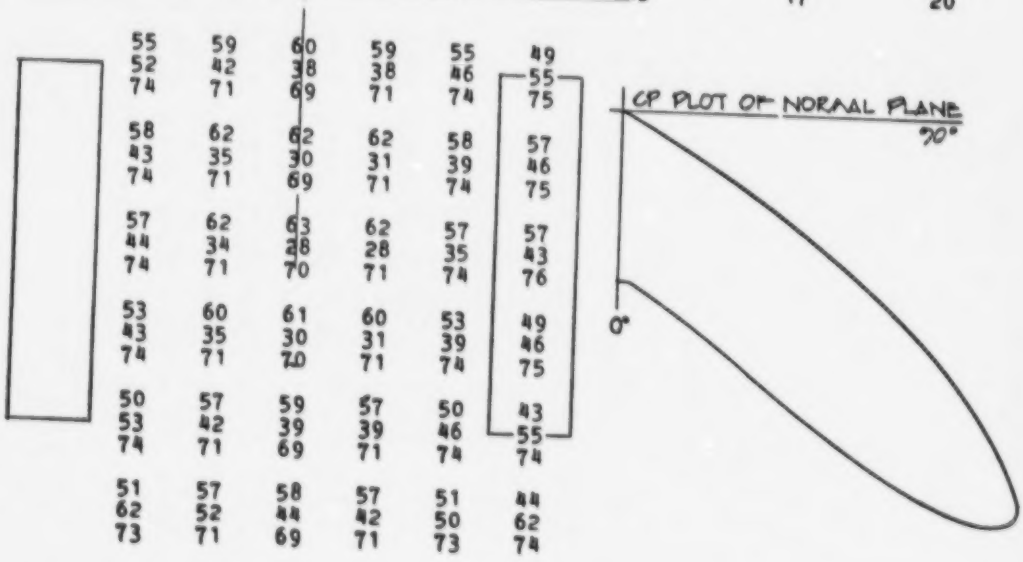
FIXTURE: DF10V
LAMP: 2-F40T10 MFR: EDISON PRICE MA OR V 430, LUMENS 3250 EFFICIENCY .727 INPUT WATTS 88

ROOM: LENGTH x WIDTH x HEIGHT 36.00 x 36.00 x 8.50
FIXTURE HEIGHT 8.50 TASK HEIGHT 2.50
RCR 1.67 FLOOR CAVITY REFLECTANCE .19
CEILING, WALL & FLOOR " " .80 .50 .20

MISC: SPACING: 6 ROWS 6.00 FT OC x 6 FIXTURES 6.00 FT OC
CEILING, WALL & FLOOR LUMINANCE 11 16 12
EQUALIZER FACTOR .551 SQ FT/FIXTURE 36.00 WATTS/SQ FT 2.44
LAMP DEPRECIATION .91 YRS/REPLACEMENT 3.00
DIRT " " .94 " /CLEANING 6.00

FC & ESI SUMMARY:

	FOOTCANDLES (RAW)	EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION NORTH-SOUTH	EAST-WEST	BOTH
AVERAGE	72	56	42	49
MAXIMUM	76	63	62	63
MINIMUM	69	43	28	28
AV. DEVIATION %	3	7	17	11
L/W -- ESL/W	30	23	17	20



UPPER FIGURES ARE ESI VALUES LOOKING LENGTHWISE NORTH
MIDDLE " " " " CROSSWISE WEST
LOWER " " LUMENS/SQ FT (FC) - NO BODY SHADOW
COMPUTED PTS 1.00 OC NS x 1.00 EW

PROGRAM: EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION 22 JANUARY 1982

PROJECT: DISTRIBUTION EFFECT ON ESI
CLIENT : NONE

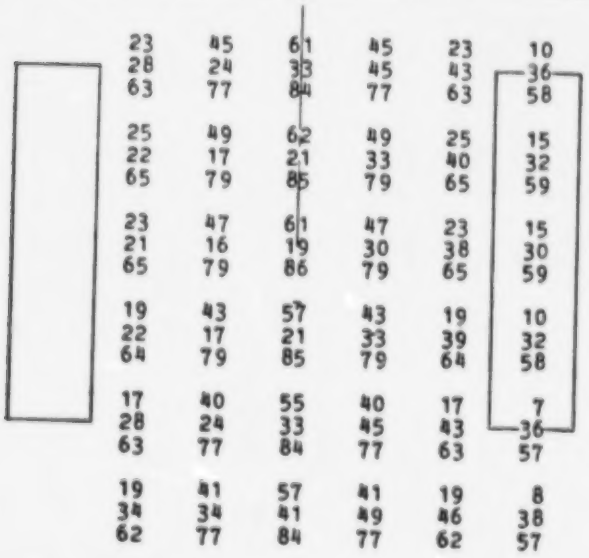
FIXTURE: LIGHTOLIER #68533 MFR: LIGHTOLIER EFFICIENCY .596
LAMP: 1-F40WW/S MA OR V 430, LUMENS 3250 INPUT WATTS 44

ROOM: LENGTH x WIDTH x HEIGHT 36.00 x 36.00 x 8.50
FIXTURE HEIGHT 8.50 TASK HEIGHT 2.50
RCR 1.67 FLOOR CAVITY REFLECTANCE .19
CEILING, WALL & FLOOR " " .80 .50 .20

MISC: SPACING: 6 ROWS 6.00 FT OC x 6 FIXTURES 6.00 FT OC
CEILING, WALL & FLOOR LUMINANCE 10 12 13
EQUALIZER FACTOR 1.333 SQ FT/FIXTURE 36.00 WATTS/SQ FT 1.22
LAMP DEPRECIATION .91 YRS/REPLACEMENT 3.00
DIRT " " .94 " /CLEANING 6.00

FC & ESI SUMMARY:

	FOOTCANDLES (RAW)	EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION NORTH-SOUTH	EAST-WEST	BOTH
AVERAGE	71	33	32	33
MAXIMUM	86	62	49	62
MINIMUM	57	7	16	7
AV. DEVIATION %	13	47	24	36
L/W -- ESL/W	58	27	26	27



UPPER FIGURES ARE ESI VALUES LOOKING LENGTHWISE NORTH
MIDDLE " " " " " CROSSWISE WEST
LOWER " " LUMENS/SQ FT (FC) - NO BODY SHADOW
COMPUTED PTS 1.00 OC NS x 1.00 EW

PROGRAM: EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION 22 JANUARY 1982

OJECT: DISTRIBUTION EFFECT ON ESI
CLIENT : NONE

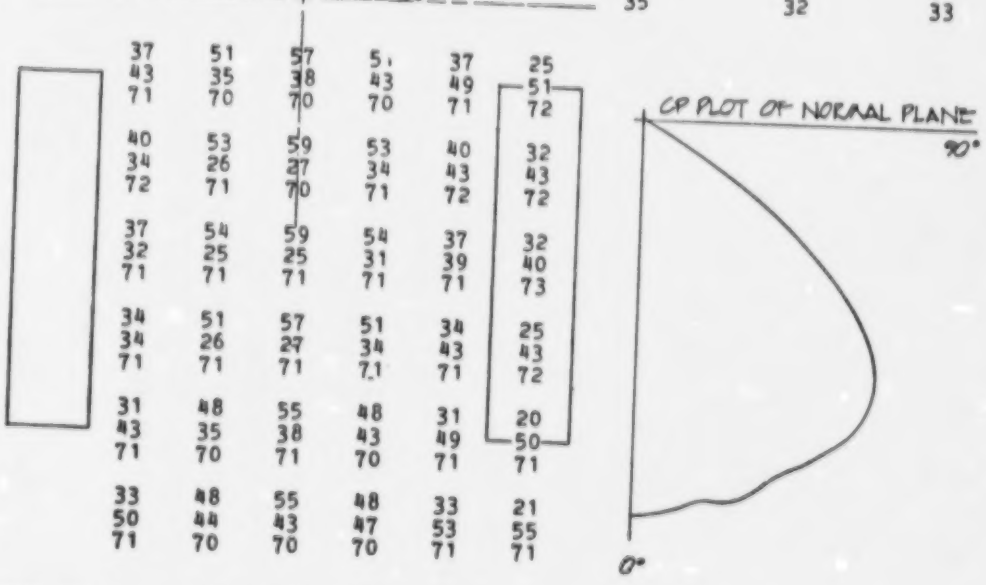
FIXTURE: HOLOPHANE 8224 MFR: HOLOPHANE EFFICIENCY .653
LAMP: 1-F40WW/S MA OR V 430, LUMENS 3250 INPUT WATTS 44

ROOM: LENGTH x WIDTH x HEIGHT 36.00 x 36.00 x 8.50
FIXTURE HEIGHT 8.50 TASK HEIGHT 2.50
RCR 1.67 FLOOR CAVITY REFLECTANCE .19
CEILING, WALL & FLOOR " " .80 .50 .20

MISC: SPACING: 6 ROWS 6.00 FT OC x 6 FIXTURES 6.00 FT OC
CEILING, WALL & FLOOR LUMINANCE 10 15 12
EQUALIZER FACTOR 1.214 SQ FT/FIXTURE 36.00 WATTS/SQ FT 1.22
LAMP DEPRECIATION .91 YRS/REPLACEMENT 3.00
DIRT " " .94 " /CLEANING 6.00

FC & ESI SUMMARY:

	FOOTCANDLES (RAW)	EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION NORTH-SOUTH	EAST-WEST	BOTH
AVERAGE	71	42	39	41
MAXIMUM	73	59	55	59
MINIMUM	70	20	25	20
AV. DEVIATION %	1	24	18	21
L/W -- ESL/W	58	35	32	33



UPPER FIGURES ARE ESI VALUES LOOKING LENGTHWISE NORTH
MIDDLE " " " " CROSSWISE WEST
LOWER " " LUMENS/SQ FT (FC) - NO BODY SHADOW
COMPUTED PTS 1.00 OC NS x 1.00 EW

PROGRAM: EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION 22 JANUARY 1982

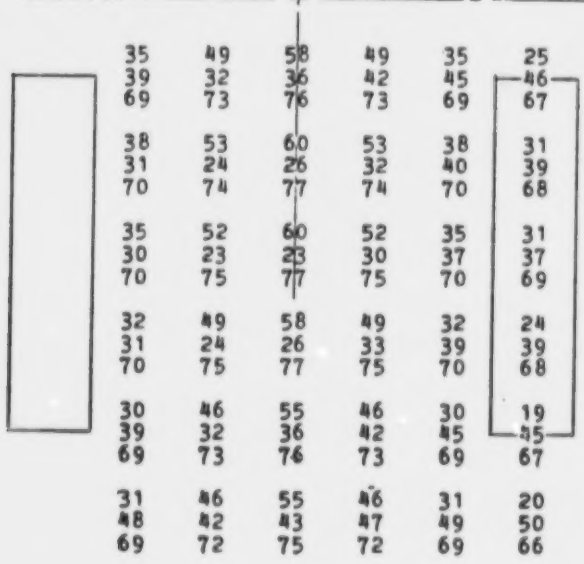
PROJECT: DISTRIBUTION EFFECT ON E.S.I.
CLIENT : NONE

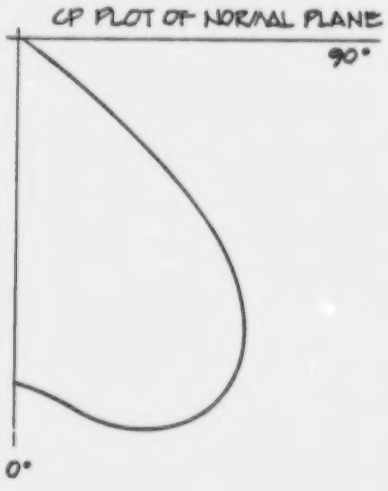
FIXTURE: COLUMBIA DP-240 MFR: COLUMBIA EFFICIENCY .579
LAMP: 2-F40WW/S MA OR V 430, LUMENS 3250 INPUT WATTS 88

ROOM: LENGTH x WIDTH x HEIGHT 36.00 x 36.00 x 8.50
FIXTURE HEIGHT 8.50 TASK HEIGHT 2.50
RCR 1.67 FLOOR CAVITY REFLECTANCE .19
CEILING, WALL & FLOOR " " .80 .50 .20

MISC: SPACING: 6 ROWS 6.00 FT OC x 6 FIXTURES 6.00 FT OC
CEILING, WALL & FLOOR LUMINANCE 10 14 12
EQUALIZER FACTOR .692 SQ FT/FIXTURE 36.00 WATTS/SQ FT 2.44
LAMP DEPRECIATION .91 YRS/REPLACEMENT 3.00
DIRT " " .94 " /CLEANING 6.00

FC & ESI SUMMARY:	FOOTCANDLES (RAW)	EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION NORTH-SOUTH	EAST-WEST	BOTH
AVERAGE	72	41	37	39
MAXIMUM	77	60	50	60
MINIMUM	66	19	23	19
AV. DEVIATION %	4	26	18	22
L/W -- ESL/W	29	17	15	16





UPPER FIGURES ARE ESI VALUES LOOKING LENGTHWISE NORTH
MIDDLE " " " " CROSSWISE WEST
LOWER " " LUMENS/SQ FT (FC) - NO BODY SHADOW
COMPUTED PTS 1.00 OC NS x 1.00 EW

PROGRAM: EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION 20 JANUARY 1982

PROJECT: ESI/AREA PER FIXTURE
CLIENT : NONE

FIXTURE: VISIONAIR 22134 B2 MFR: EDISON PRICE INC. EFFICIENCY .795
LAMP: 1-F40WW/S MA OR V 430, LUMENS 3250 INPUT WATTS 19

ROOM: LENGTH x WIDTH x HEIGHT 40.00 x 40.00 x 8.50
FIXTURE HEIGHT 8.50 TASK HEIGHT 2.50
RCR 1.50 FLOOR CAVITY REFLECTANCE .19
CEILING, WALL & FLOOR " " .80 .50 .20

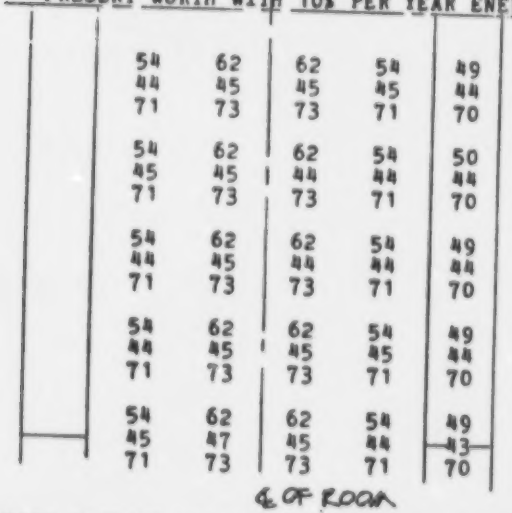
MISC: SPACING: 10 ROWS 4.00 FT OC x 10 FIXTURES 4.00 FT OC
CEILING, WALL & FLOOR LUMINANCE 11 18 12
AREA FACTOR .444 SQ FT/FIXTURE 16.00 WATTS/SQ FT 1.19
LAMP DEPRECIATION .90 YRS/REPLACEMENT 3.00
DIRT " " .94 " /CLEANING 6.00

FC & ESI SUMMARY:

	FOOTCANDLES (RAW)	EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION NORTH-SOUTH	EAST-WEST	BOTH
AVERAGE	72	56	45	50
MAXIMUM	73	62	47	62
MINIMUM	70	49	43	43
AV. DEVIATION %	1	8	1	5
L/W -- ESL/W	60	47	38	42

COST ANALYSIS:

	COST PER SQ FT	100 ESL
FIRST COST: FIXTURE $ 60; LAMPS $1.80; INSTALLATION $ 30	$ 5.74	$11.39
OPERATING COST/YEAR OF 3280 HRS: ENERGY/KWH $.100 + LAMPS	.43	.85
PRESENT WORTH AT 10 YEAR WRITE-OFF, INTEREST AT 12.0%	8.15	16.17
PRESENT WORTH WITH 10% PER YEAR ENERGY ESCALATION	9.16	18.18



4 x 4

UPPER FIGURES ARE ESI VALUES LOOKING LENGTHWISE NORTH
MIDDLE " " " " " CROSSWISE WEST
LOWER " " LUMENS/SQ FT (FC) - NO BODY SHADOW
COMPUTED PTS 0 80 OC NS x 0.80 EW

PROGRAM: EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION 20 JANUARY 1982

PROJECT: ESI/AREA PER FIXTURE
CLIENT : NONE

FIXTURE: VISIONAIR 22134 B2 MFR: EDISON PRICE INC. EFFICIENCY .795
LAMP: 1-F40WW/S MA OR V 430, LUMENS 3250 INPUT WATTS 30

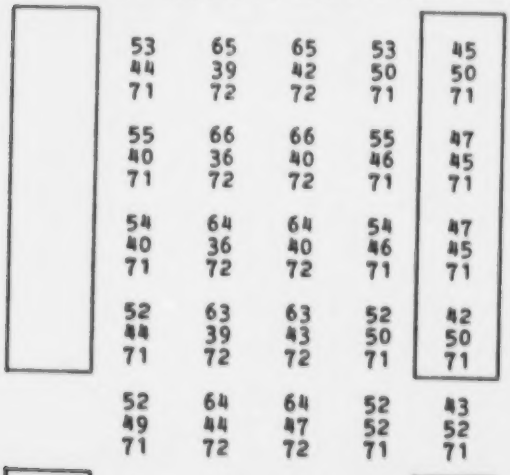
ROOM: LENGTH x WIDTH x HEIGHT 40.00 x 40.00 x 8.50
FIXTURE HEIGHT 8.50 TASK HEIGHT 2.50
RCR 1.50 FLOOR CAVITY REFLECTANCE .19
CEILING, WALL & FLOOR " " .80 .50 .20

MISC: SPACING: 8 ROWS 5.00 FT OC x 8 FIXTURES 5.00 FT OC
CEILING, WALL & FLOOR LUMINANCE 11 17 12
AREA FACTOR .694 SQ FT/FIXTURE 25.00 WATTS/SQ FT 1.20
LAMP DEPRECIATION .90 YRS/REPLACEMENT 3.00
DIRT " " .94 " /CLEANING 6.00

FC & ESI SUMMARY:	FOOTCANDLES (RAW)	EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION NORTH-SOUTH	EAST-WEST	BOTH
AVERAGE	71	56	44	50
MAXIMUM	72	66	52	66
MINIMUM	71	42	36	36
AV. DEVIATION %	1	12	9	10
L/W -- ESL/W	59	47	37	42

COST ANALYSIS:

	COST PER SQ FT	100 ESL
FIRST COST: FIXTURE $ 60; LAMPS $1.80; INSTALLATION $ 30	$ 3.67	$ 7.31
OPERATING COST/YEAR OF 3280 HRS: ENERGY/KWH $.100 + LAMPS	.42	.83
PRESENT WORTH AT 10 YEAR WRITE-OFF, INTEREST AT 12.0%	6.03	12.01
PRESENT WORTH WITH 10% PER YEAR ENERGY ESCALATION	7.05	14.04



5 x 5

UPPER FIGURES ARE ESI VALUES LOOKING LENGTHWISE NORTH
MIDDLE " " " " " CROSSWISE WEST
LOWER " " LUMENS/SQ FT (FC) - NO BODY SHADOW

PROGRAM: EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION 21 JANUARY 1982

PROJECT: ESI/AREA PER FIXTURE
CLIENT : NONE

FIXTURE: VISIONAIR 22134 B2 MFR: EDISON PRICE INC. EFFICIENCY .795
LAMP: 1-F40WW/S MA OR V 430, LUMENS 3250 INPUT WATTS 44

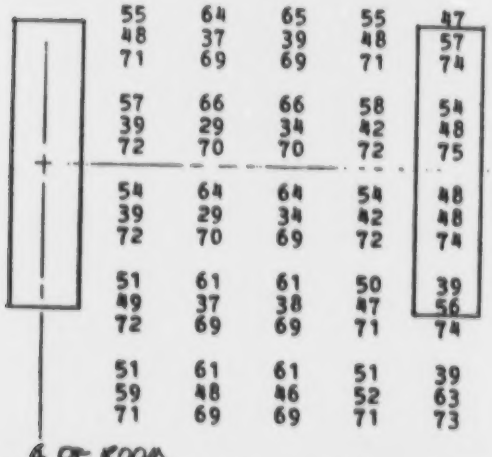
ROOM: LENGTH x WIDTH x HEIGHT 42.00 x 42.00 x 8.50
FIXTURE HEIGHT 8.50 TASK HEIGHT 2.50
RCR 1.43 FLOOR CAVITY REFLECTANCE .20
CEILING, WALL & FLOOR " " .80 .50 .20

MISC: SPACING: 7 ROWS 6.00 FT OC x 7 FIXTURES 6.00 FT OC
CEILING, WALL & FLOOR LUMINANCE 11 16 12
NO FACTOR 1.000 SQ FT/FIXTURE 36.00 WATTS/SQ FT 1.22
LAMP DEPRECIATION .90 YRS/REPLACEMENT 3.00
DIRT " " .94 " /CLEANING 6.00

FC & ESI SUMMARY:	FOOTCANDLES (RAW)	EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION NORTH-SOUTH	EAST-WEST	BOTH
AVERAGE	71	56	44	50
MAXIMUM	75	66	63	66
MINIMUM	69	39	29	29
AV. DEVIATION %	2	11	17	14
L/W -- ESL/W	58	46	36	41

COST ANALYSIS:

	COST PER SQ FT	100 ESL
FIRST COST: FIXTURE $ 60; LAMPS $1.80; INSTALLATION @ 30	$ 2.55	$ 5.09
OPERATING COST/YEAR OF 3280 HRS: ENERGY/KWH $.100 + LAMPS	.42	.83
PRESENT WORTH AT 10 YEAR WRITE-OFF, INTEREST AT 12.0%	4.91	9.79
PRESENT WORTH WITH 10% PER YEAR ENERGY ESCALATION	5.95	11.87



6 x 6

UPPER FIGURES ARE ESI VALUES LOOKING LENGTHWISE NORTH
MIDDLE " " " " CROSSWISE WEST
LOWER " " LUMENS/SQ FT (FC) - NO BODY SHADOW
COMPUTED PTS 1.20 OC NS x 1.20 EW

PROGRAM: EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION 21 JANUARY 1982

PROJECT: ESI/AREA PER FIXTURE
CLIENT : NONE

FIXTURE: VISIONAIR 22134 B2 MFR: EDISON PRICE INC. EFFICIENCY .795
LAMP: 1-F40WW/S MA OR V 430, LUMENS 3250 INPUT WATTS 59

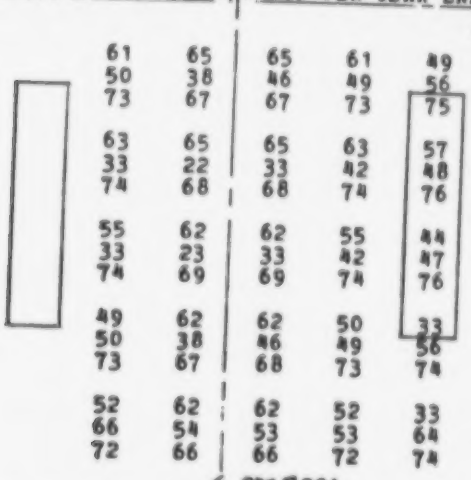
ROOM: LENGTH x WIDTH x HEIGHT 42.00 x 42.00 x 8.50
FIXTURE HEIGHT 8.50 TASK HEIGHT 2.50
RCR 1.43 FLOOR CAVITY REFLECTANCE .20
CEILING, WALL & FLOOR " " .80 .50 .20

MISC: SPACING: 6 ROWS 7.00 FT OC x 6 FIXTURES 7.00 FT OC
CEILING, WALL & FLOOR LUMINANCE 11 16 12
AREA FACTOR 1.361 SQ FT/FIXTURE 49.00 WATTS/SQ FT 1.20
LAMP DEPRECIATION .90 YRS/REPLACEMENT 3.00
DIRT " " .94 " /CLEANING 6.00

FC & ESI SUMMARY:	- FOOTCANDLES (RAW)	EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION NORTH-SOUTH	EAST-WEST	BOTH
AVERAGE	71	56	45	51
MAXIMUM	76	65	66	66
MINIMUM	66	33	22	22
AV. DEVIATION %	4	13	20	16
L/W -- ESL/W	59	47	37	42

COST ANALYSIS:

	COST PER SQ FT	100 ESL
FIRST COST: FIXTURE $ 60; LAMPS $1.80; INSTALLATION $ 30	$ 1.87	$ 3.89
OPERATING COST/YEAR OF 3280 HRS: ENERGY/KWH $.100 + LAMPS	.41	.80
PRESENT WORTH AT 10 YEAR WRITE-OFF, INTEREST AT 12.0%	4.17	8.23
PRESENT WORTH WITH 10% PER YEAR ENERGY ESCALATION	5.20	10.25



UPPER FIGURES ARE ESI VALUES LOOKING LENGTHWISE NORTH
MIDDLE " " " " CROSSWISE WEST
LOWER " " LUMENS/SQ FT (FC) - NO BODY SHADOW
COMPUTED PTS 1.40 OC NS x 1.40 EW

PROGRAM: EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION 21 JANUARY 1982

PROJECT: ESI/AREA PER FIXTURE
CLIENT : NONE

FIXTURE: VISIONAIR 22134 B2 MFR: EDISON PRICE INC. EFFICIENCY .795
LAMP: 1-F40WW/S MA OR V 430, LUMENS 3250 INPUT WATTS 78

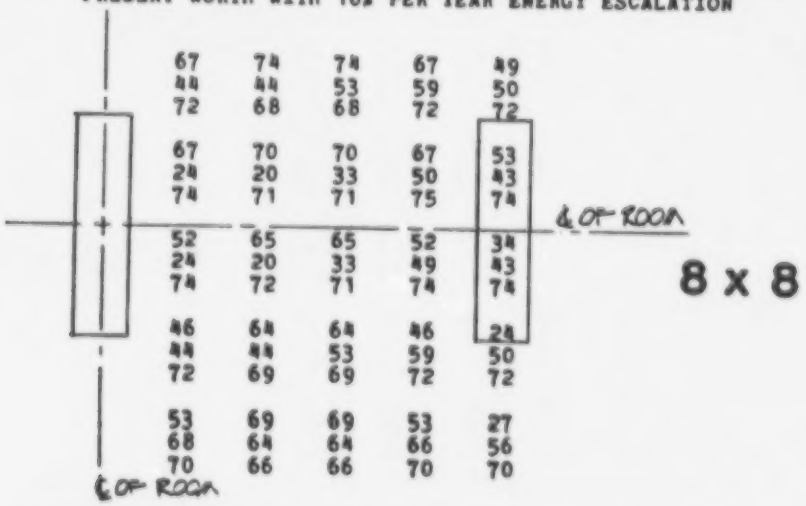
ROOM: LENGTH x WIDTH x HEIGHT 40.00 x 40.00 x 8.50
FIXTURE HEIGHT 8.50 TASK HEIGHT 2.50
RCR 1.50 FLOOR CAVITY REFLECTANCE .19
CEILING, WALL & FLOOR " " .80 .50 .20

MISC: SPACING: 5 ROWS 8.00 FT OC x 5 FIXTURES 8.00 FT OC
CEILING, WALL & FLOOR LUMINANCE 10 16 12
AREA FACTOR 1.778 SQ FT/FIXTURE 64.00 WATTS/SQ FT 1.22
LAMP DEPRECIATION .90 YRS/REPLACEMENT 3.00
DIRT " " .94 " /CLEANING 6.00

FC & ESI SUMMARY:	FOOTCANDLES (RAW)	EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION NORTH-SOUTH	EAST-WEST	BOTH
AVERAGE	71	58	46	52
MAXIMUM	75	74	68	74
MINIMUM	66	24	20	20
AV. DEVIATION %	3	20	24	22
L/W -- ESL/W	58	47	38	43

COST ANALYSIS:

	COST PER SQ FT	100 ESL
FIRST COST: FIXTURE $ 60; LAMPS $1.80; INSTALLATION $ 30	$ 1.43	$ 2.76
OPERATING COST/YEAR OF 3280 HRS: ENERGY/KWH $.100 + LAMPS	.41	.79
PRESENT WORTH AT 10 YEAR WRITE-OFF, INTEREST AT 12.0%	3.75	7.21
PRESENT WORTH WITH 10% PER YEAR ENERGY ESCALATION	4.78	9.21



UPPER FIGURES ARE ESI VALUES LOOKING LENGTHWISE NORTH
MIDDLE " " " " CROSSWISE WEST
LOWER " " LUMENS/SQ FT (FC) - NO BODY SHADOW
COMPUTED PTS 1.60 OC NS x 1.60 EW

PROGRAM: EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION 21 JANUARY 1982

PROJECT: ESI/AREA PER FIXTURE
CLIENT : NONE

FIXTURE: VISIONAIR 22134 B2 MFR: EDISON PRICE INC. EFFICIENCY .795
LAMP: 1-F40WW/S MA OR V 430, LUMENS 3250 INPUT WATTS 122

ROOM: LENGTH x WIDTH x HEIGHT 40.00 x 40.00 x 8.50
FIXTURE HEIGHT 8.50 TASK HEIGHT 2.50
RCR 1.50 FLOOR CAVITY REFLECTANCE .19
CEILING, WALL & FLOOR " " .80 .50 .20

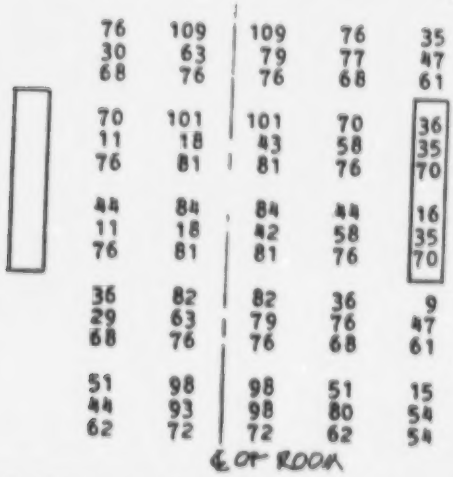
MISC: SPACING: 4 ROWS 10.00 FT OC x 4 FIXTURES 10.00 FT OC
CEILING, WALL & FLOOR LUMINANCE 11 16 12
AREA FACTOR 2.778 SQ FT/FIXTURE 100.00 WATTS/SQ FT 1.22
LAMP DEPRECIATION .91 YRS/REPLACEMENT 3.00
DIRT " " .94 " /CLEANING 6.00

FC & ESI SUMMARY:

	FOOTCANDLES (RAW)	EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION NORTH-SOUTH	EAST-WEST	BOTH
AVERAGE	72	65	52	58
MAXIMUM	81	109	98	109
MINIMUM	54	9	11	9
AV. DEVIATION %	9	42	40	41
L/W -- ESL/W	59	53	42	48

COST ANALYSIS:

	COST PER SQ FT	100 ESL
FIRST COST: FIXTURE $ 60; LAMPS $1.80; INSTALLATION $ 30	$ 0.92	$ 1.58
OPERATING COST/YEAR OF 3280 HRS: ENERGY/KWH $.100 + LAMPS	.41	.70
PRESENT WORTH AT 10 YEAR WRITE-OFF, INTEREST AT 12.0%	3.21	5.53
PRESENT WORTH WITH 10% PER YEAR ENERGY ESCALATION	4.25	7.32



10 x 10

UPPER FIGURES ARE ESI VALUES LOOKING LENGTHWISE NORTH
MIDDLE " " " " CROSSWISE WEST
LOWER " " LUMENS/SQ FT (FC) - NO BODY SHADOW
COMPUTED PTS 2.00 OC NS x 2.00 EW

PROGRAM: EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION 21 JANUARY 1982

PROJECT: ESI/AREA PER FIXTURE
CLIENT : NONE

FIXTURE: VISIONAIR 22134 B2 MFR: EDISON PRICE INC. EFFICIENCY .795
LAMP: 1-F40WW/S MA OR V 430, LUMENS 3250 INPUT WATTS 239

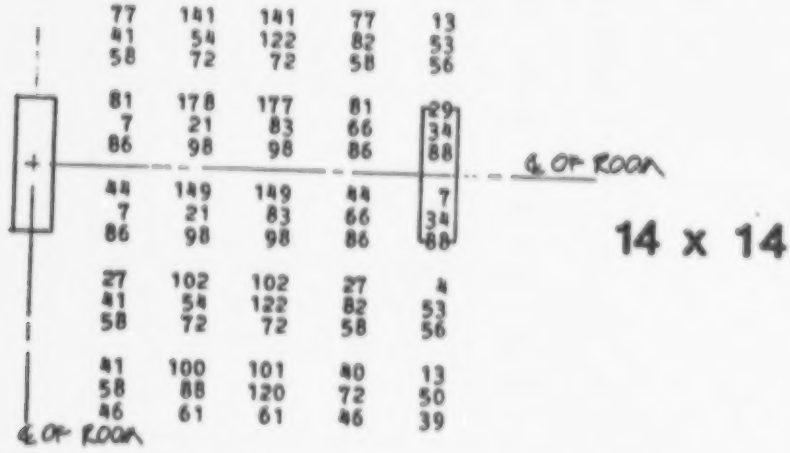
ROOM: LENGTH x WIDTH x HEIGHT 42.00 x 42.00 x 8.50
FIXTURE HEIGHT 6.50 TASK HEIGHT 2.50
RCR 1.43 FLOOR CAVITY REFLECTANCE .20
CEILING, WALL & FLOOR " " .80 .50 .20

MISC: SPACING: 3 ROWS 14.00 FT OC x 3 FIXTURES 14.00 FT OC
CEILING, WALL & FLOOR LUMINANCE 10 13 13
AREA FACTOR 5.444 SQ FT/FIXTURE 196.00 WATTS/SQ FT 1.22
LAMP DEPRECIATION .91 YRS/REPLACEMENT 3.00
DIRT " " .94 " /CLEANING 6.00

FC & ESI SUMMARY:	FOOTCANDLES (RAW)	EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION NORTH-SOUTH	EAST-WEST	BOTH
AVERAGE	72	78	61	69
MAXIMUM	98	178	122	178
MINIMUM	39	4	7	4
AV. DEVIATION %	21	58	42	51
L/W -- ESL/W	59	64	50	57

COST ANALYSIS:

	COST PER SQ FT	100 ESL
FIRST COST: FIXTURE $ 60; LAMPS $1.80; INSTALLATION $ 30	$ 0.47	$ 0.68
OPERATING COST/YEAR OF 3280 HRS: ENERGY/KWH $.100 + LAMPS	.40	.58
PRESENT WORTH AT 10 YEAR WRITE-OFF, INTEREST AT 12.0%	2.75	3.97
PRESENT WORTH WITH 10% PER YEAR ENERGY ESCALATION	3.78	5.46



UPPER FIGURES ARE ESI VALUES LOOKING LENGTHWISE NORTH
MIDDLE " " " " " CROSSWISE WEST
LOWER " " LUMENS/SQ FT (FC) - NO BODY SHADOW
COMPUTED PTS 2.80 OC NS x 2.80 EW

PROGRAM: EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION 13 DECEMBER 1979

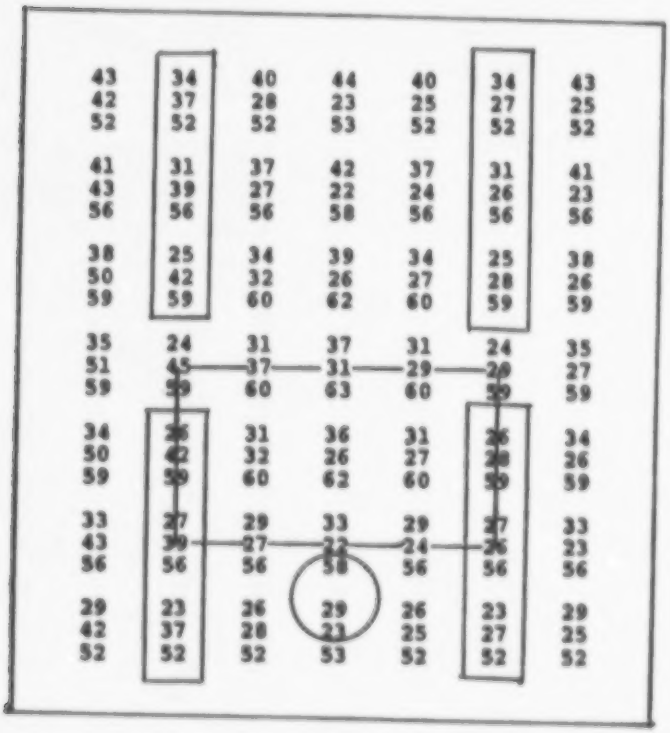
PROJECT: S.S.A. BALTIMORE
CLIENT : OWENS CORNING FIBERGLASS

FIXTURE: DF12B2 MFR: EDISON PRICE INC. EFFICIENCY .795
LAMP: 1-F40WW/S MA OR VOLTS 430, LUMENS 3250, INPUT WATTS 44

ROOM: LENGTH x WIDTH x HEIGHT 10.00 x 10.00 x 9.00
FIXTURE HEIGHT 9.00 TASK HEIGHT 2.50
RCR 6.50 FLOOR CAVITY REFLECTANCE .20
CEILING, WALL & FLOOR " " .80 .60 .20

MISC: SPACING: 2 ROWS 5.00 FT OC x 2 FIXTURES 5.00 FT OC
CEILING, WALL & FLOOR LUMINANCE 17 26 11
AIR ADJ. FACTOR 1.014 SQ FT/FIXTURE 25.00 WATTS/SQ FT 1.76
LAMP DEPRECIATION .92 YRS/REPLACEMENT 3.00
DIRT " " .93 " /CLEANING 6.00

FC & ESI SUMMARY:	FOOTCANDLES (RAW)	EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION NORTH-SOUTH	EAST-WEST	BOTH
AVERAGE	57	33	31	32
MAXIMUM	63	44	51	51
MINIMUM	52	23	22	22
AV. DEVIATION %	5	15	22	18
L/W -- ESL/W	32	19	18	18



32

UPPER FIGURES ARE ESI VALUES LOOKING LENGTHWISE NORTH
MIDDLE " " " " CROSSWISE WEST
LOWER " " LUMENS/SQ FT (FC) - NO BODY SHADOW
COMPUTED PTS 1.25 OC NS x 1.25 EW

PROGRAM: EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION 1 FEBRUARY 1978

PROJECT: E.S.A. BALTIMORE
CLIENT : OWENS-CORNING FIBERGLASS

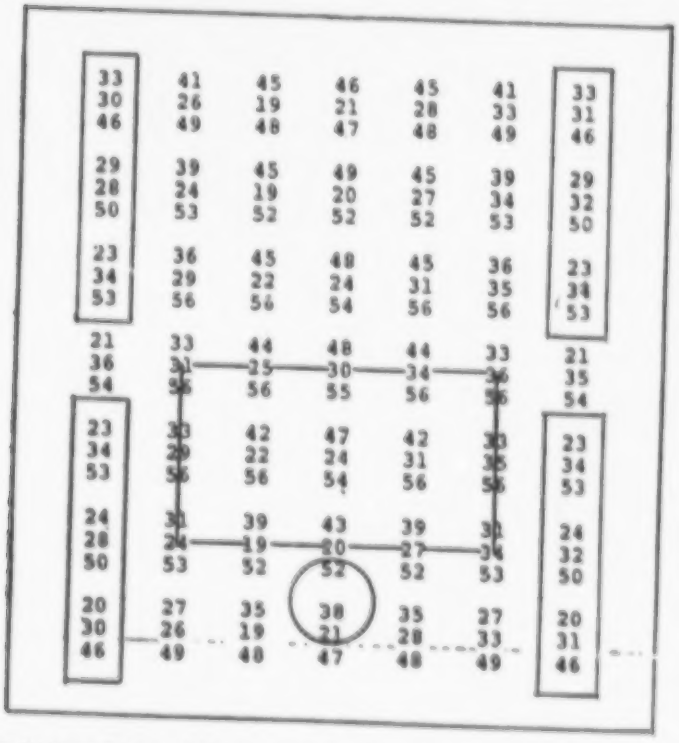
FIXTURE: DF12B2
LAMP: 1-F40WW/S MFR: EDISON PRICE INC. EFFICIENCY .795
MA OR VOLTS 430, LUMENS 3250, INPUT WATTS 44

ROOM: LENGTH x WIDTH x HEIGHT 10.00 x 10.00 x 9.00
FIXTURE HEIGHT 9.00 TASK HEIGHT 2.50
RCR 6.50 FLOOR CAVITY REFLECTANCE .20
CEILING, WALL & FLOOR " " .80 .60 .20

MISC: SPACING: 2 ROWS 7.50 FT OC x 2 FIXTURES 5.00 FT OC
CEILING, WALL & FLOOR LUMINANCE 16 23 12
AIR ADJ. FACTOR 1.014 SQ FT/FIXTURE 25.00 WATTS/SQ FT 1.76
LAMP DEPRECIATION .92 YRS/REPLACEMENT 3.00
DIRT " " .93 " /CLEANING 6.00

FC & ESI SUMMARY:

	FOOTCANDLES (RAW)	EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION NORTH-SOUTH	EAST-WEST	SOUTH
AVERAGE	52	35	28	32
MAXIMUM	56	49	36	49
MINIMUM	46	20	19	19
AV. DEVIATION %	5	22	16	19
L/W -- ESL/W	30	20	16	18



44

UPPER FIGURES ARE ESI VALUES LOOKING LENGTHWISE NORTH
MIDDLE " " " " " CROSSWISE WEST
LOWER " " LUMENS/SQ FT (FC) - NO BODY SHADOW
COMPUTED PTS 1.25 OC NS x 1.25 EW

PROGRAM: EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION 1 FEBRUARY 1978

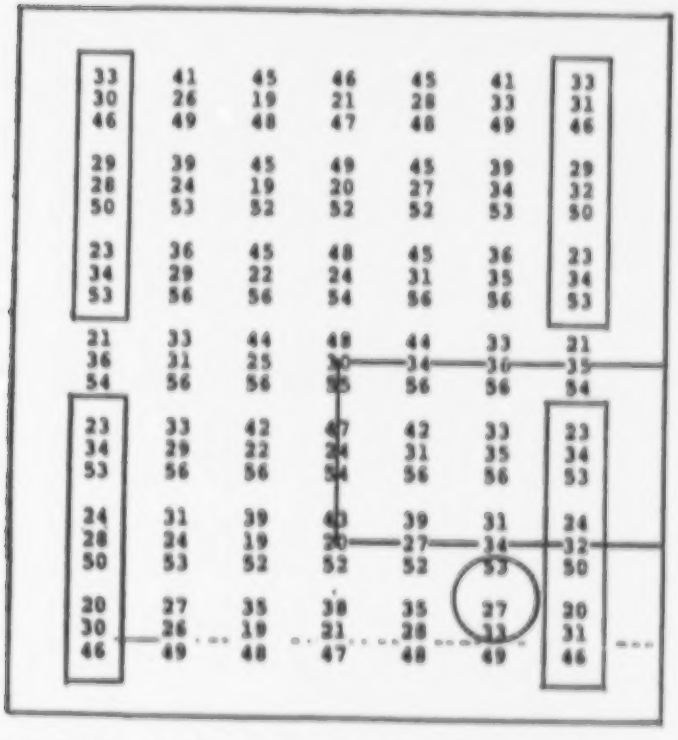
PROJECT: S.S.A. BALTIMORE
CLIENT : OWENS-CORNING FIBERGLASS

FIXTURE: DF1282 MFR: EDISON PRICE INC. EFFICIENCY .775
LAMP: 1-F40WW/S MA OR VOLTS 430, LUMENS 3250, INPUT WATTS 44

ROOM: LENGTH x WIDTH x HEIGHT 10.00 x 10.00 x 9.00
FIXTURE HEIGHT 9.00 TASK HEIGHT 2.50
RCR 6.50 FLOOR CAVITY REFLECTANCE .20
CEILING, WALL & FLOOR " " .80 .60 .20

MISC: SPACING: 2 ROWS 7.50 FT OC x 2 FIXTURES 5.00 FT OC
CEILING, WALL & FLOOR LUMINANCE 16 23 12
AIR ADJ. FACTOR 1.014 SQ FT/FIXTURE 25.00 WATTS/SQ FT 1.76
LAMP DEPRECIATION .92 YRS/REPLACEMENT 3.00
DIRT " " .93 " /CLEANING 6.00

FC & ESI SUMMARY:	FOOTCANDLES (RAW)	EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION NORTH-SOUTH	EAST-WEST	BOTH
AVERAGE	52	35	28	32
MAXIMUM	56	49	36	49
MINIMUM	46	20	19	19
AV. DEVIATION %	5	22	16	19
L/W -- ESL/W	30	20	16	18



32

UPPER FIGURES ARE ESI VALUES LOOKING LENGTHWISE NORTH
MIDDLE " " " " " CROSSWISE WEST
LOWER " " LUMENS/SQ FT (FC) - NO BODY SHADOW
COMPUTED PTS 1.25 OC NS x 1.25 EW

PROGRAM: EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION 17 FEBRUARY 1978

PROJECT: S.S.A. BALTIMORE
CLIENT : OWENS-CORNING FIBERGLASS

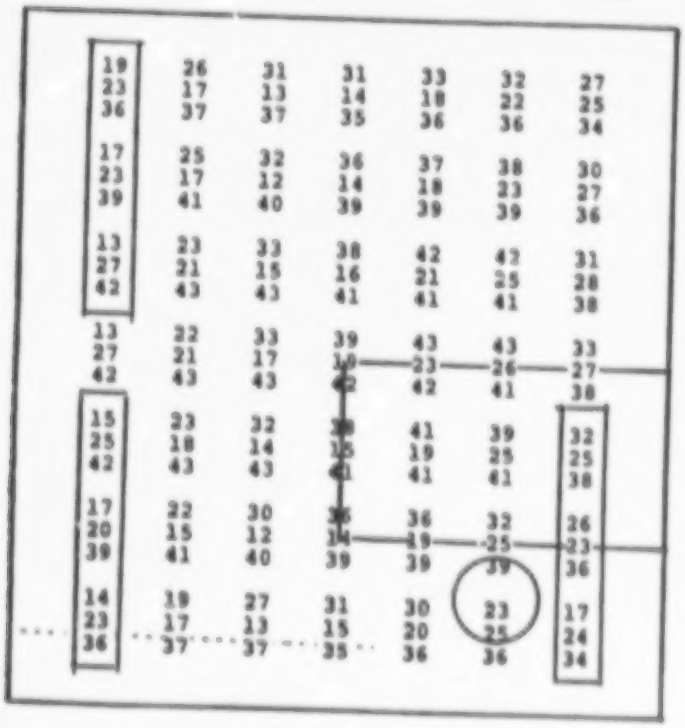
FIXTURE: DF12B2 MFR: EDISON PRICE INC. EFFICIENCY .795
LAMP: 1-F40WW/E RA OR VOLTS 430, LUMENS 3250, INPUT WATTS 44

ROOM: LENGTH x WIDTH x HEIGHT 10.00 x 10.00 x 9.00
FIXTURE HEIGHT 9.00 TASK HEIGHT 2.50
RCR 6.50 FLOOR CAVITY REFLECTANCE .20
CEILING, WALL & FLOOR " " .80 .60 .20

MISC: LAYOUT : THREE FIXTURES IN L LAYOUT
CEILING, WALL & FLOOR LUMINANCE 12 18 9
AIR ADJ. FACTOR 1.014 SQ FT/FIXTURE 33.33 WATTS/SQ FT 1.32
LAMP DEPRECIATION .92 YRS/REPLACEMENT 3.00
DIRT " " .93 " /CLEANING 6.00

FC & ESI SUMMARY:

	FOOTCANDLES (RAW)	EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION NORTH-SOUTH	EAST-WEST	SOUTH
AVERAGE	39	29	20	25
MAXIMUM	43	43	28	43
MINIMUM	34	13	12	12
AV. DEVIATION %	6	24	21	23
L/W -- ESL/W	30	22	15	19



35

UPPER FIGURES ARE ESI VALUES LOOKING LENGTHWISE NORTH
MIDDLE " " " " CROSSWISE WEST
LOWER " " LUMENS/SQ FT (FC) - NO BODY SHADOW
COMPUTED PTS 1.25 OC NS x 1.25 EW

PROGRAM: EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION 1 FEBRUARY 1978

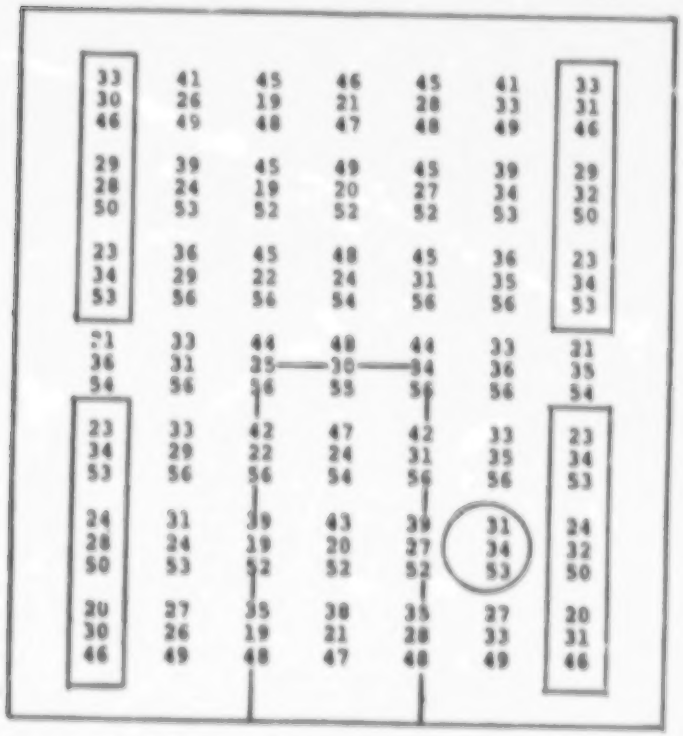
PROJECT: S.S.A. BALTIMORE
CLIENT : OWENS-CORNING FIBERGLASS

FIXTURE: DF1282 MFR: EDISON PRICE INC. EFFICIENCY .795
LAMP: 1-F40WW/S MA OR VOLTS 430, LUMENS 3250, INPUT WATTS 44

ROOM: LENGTH x WIDTH x HEIGHT 10.00 x 10.00 x 9.00
FIXTURE HEIGHT 9.00 TASK HEIGHT 2.50
RCR 6.50 FLOOR CAVITY REFLECTANCE .20
CEILING, WALL & FLOOR " " .80 .60 .20

MISC: SPACING: 2 ROWS 7.50 FT OC x 2 FIXTURES 5.00 FT OC
CEILING, WALL & FLOOR LUMINANCE 16 23 12
AIR ADJ. FACTOR 1.014 SQ FT/FIXTURE 25.00 WATTS/SQ FT 1.76
LAMP DEPRECIATION .92 YRS/REPLACEMENT 3.00
DIRT " " .93 " /CLEANING 6.00

FC & ESI SUMMARY:	FOOTCANDLES (RAW)	EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION NORTH-SOUTH	EAST-WEST	BOTH
AVERAGE	52	35	28	32
MAXIMUM	56	49	36	49
MINIMUM	46	20	19	19
AV. DEVIATION %	5	22	16	19
E/W -- ESL/W	30	20	16	18



25

UPPER FIGURES ARE ESI VALUES LOOKING LENGTHWISE NORTH
MIDDLE " " " " CROSSWISE WEST
LOWER " " LUMENS/SQ FT (FC) - NO BODY SHADOW
COMPUTED PTS 1.25 OC NS x 1.25 EW -

PROGRAM: EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION

20 FEBRUARY 1978

PROJECT: S.S.A. BALTIMORE
CLIENT : CORNING-CORNING FIBERGLASS

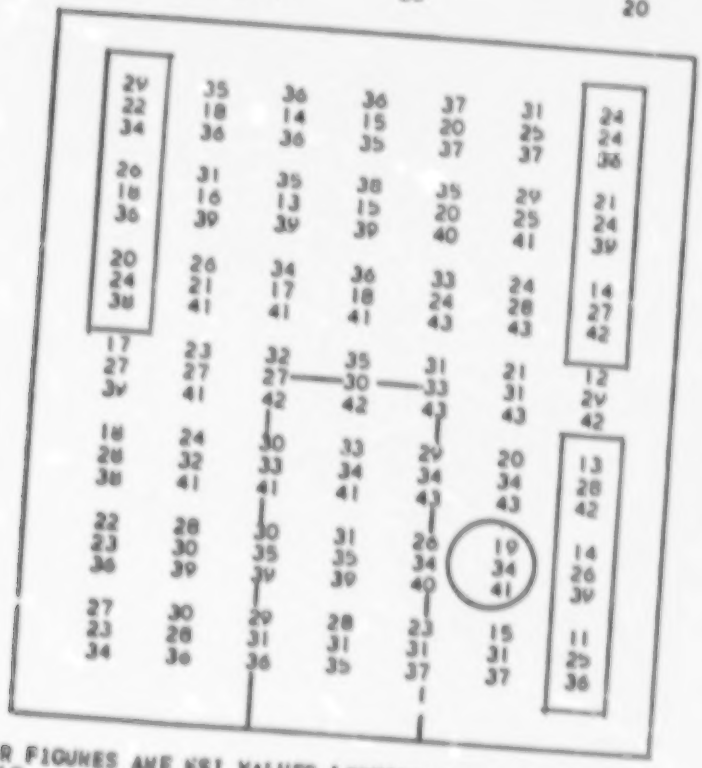
FIXTURE: DF1282
LAMP: 1-F40WW/S MFR: EDISON PRICE INC. EFFICIENCY .795
RA OR VOLTS 360, LUMENS 3250, INPUT WATTS 44

ROOM: LENGTH x WIDTH x HEIGHT 10.00 x 10.00 x 9.00
FIXTURE HEIGHT 9.00 TASK HEIGHT 2.50
WCH 6.50 FLOOR CAVITY REFLECTANCE .20
CEILING, WALL & FLOOR " " .80 .60 .20

MISC: LAYOUT : SPECIAL LAYOUT J
CEILING, WALL & FLOOR LUMINANCE 12 18 0
AIR ADJUST. FACT 1.014 SQ FT/FIXTURE 33.33 WATTS/SQ FT 1.32
LAMP DEPRECIATION .92 YRS/REPLACEMENT 3.00
DIRT " " .93 " /CLEANING 6.00

FC & ESI SUMMARY:

	FOOTCANDLES (RAW)	EQUIVALENT SPHERE ILLUMINATION NORTH-SOUTH	EAST-WEST	BOTH
AVERAGE	39	27	26	26
MAXIMUM	43	38	35	38
MINIMUM	34	11	13	11
AV. DEVIATION %	6	23	20	22
L/R — ESL/R	30	20	20	20



33

UPPER FIGURES ARE ESI VALUES LOOKING LENGTHWISE NORTH
MIDDLE " " " " " CROSSWISE WEST
LOWER " " LUMENS/SQ FT (FC) - NO BODY SHADOW
COMPUTED PTS 1.25 OC NS x 1.25 EW

[UNE TRANCHE

FAITE EN SECTION]

TABLEAU I : VALEURS ERI EN FONCTION DE LA LUMINANCE DE FOND ET DU CRF

CRF	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15
100	43,6	46,7	49,8	52,9	56,0	59,1	62,2	65,3	68,5	71,6
100	66	86	111	146	198	271	370	514	738	1016
200	47,9	51,4	54,8	58,2	61,6	65,1	68,5	71,9	75,3	78,8
200	96	126	175	247	349	499	740	1050	1555	2239
300	50,7	54,3	57,9	61,5	65,1	68,8	72,4	76,0	79,6	83,2
300	119	167	240	345	504	763	1110	1674	2467	3679
400	52,4	56,2	59,9	63,6	67,4	71,1	74,9	78,6	82,4	86,1
400	139	202	293	428	654	970	1481	2207	3347	5090
500	53,9	57,7	61,6	65,4	69,3	73,1	77,0	80,8	84,7	88,5
500	161	235	346	518	805	1212	1851	2817	4321	6623
600	55,1	59,0	62,9	66,9	70,8	74,7	78,7	82,6	86,5	90,5
600	181	268	398	616	939	1462	2221	3442	5338	8200
700	56,0	60,0	64,0	68,0	72,0	76,0	80,0	84,0	88,0	92,0
700	198	296	445	704	1063	1677	2591	4016	6267	9748
800	56,9	60,9	65,0	69,1	73,1	77,2	81,2	85,3	89,4	93,4
800	216	326	496	789	1214	1894	2961	4661	7299	11588
900	57,6	61,7	65,9	70,0	74,1	78,2	82,3	86,4	90,6	94,7
900	233	353	546	865	1358	2108	3331	5275	8267	13617
1000	58,3	62,5	66,6	70,8	75,0	79,1	83,3	87,5	91,6	95,8
1000	250	379	599	939	1496	2337	3702	5893	9312	15771
1100	58,9	63,1	67,3	71,5	75,7	79,9	84,1	88,3	92,5	96,8
1100	264	405	647	1010	1621	2560	4072	6500	10392	18150
1200	59,4	63,7	67,9	72,2	76,4	80,7	84,9	89,2	93,4	97,6
1200	280	429	697	1084	1751	2780	4442	7129	11537	20890
1300	59,9	64,2	68,5	72,8	77,0	81,3	85,6	89,9	94,2	98,4
1300	294	454	741	1163	1867	2995	4812	7703	12725	23893
1400	60,4	64,7	69,0	73,3	77,6	82,0	86,3	90,6	94,9	99,2
1400	308	481	785	1245	1985	3193	5182	8295	14013	28073
1500	60,8	65,2	69,5	73,9	78,2	82,6	86,9	91,3	95,6	100,0
1500	322	506	827	1329	2112	3426	5552	8940	15389	36126

LES VALEURS FIGURANT DANS LA COLONNE DE GAUCHE SONT DES LUMINANCES EN CANDELAS PAR MÈTRE CARRÉ

CHAQUE VALEUR SUPÉRIEURE EST UN INDICE DE VISIBILITÉ ÉQUIVALENTE (1 500 CANDELAS PAR MÈTRE CARRÉ ET CRF=1 DONNENT UN INDICE DE VISIBILITÉ DE 100)

LES CHIFFRES INFÉRIEURS SONT DES VALEURS DE L'ÉCLAIREMENT ÉQUIVALENT DE RÉFÉRENCE (ERI = EQUIVALENT REFERENCE ILLUMINANCE), EN LUX

PROGRAMME: ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) 21 JANVIER 1982

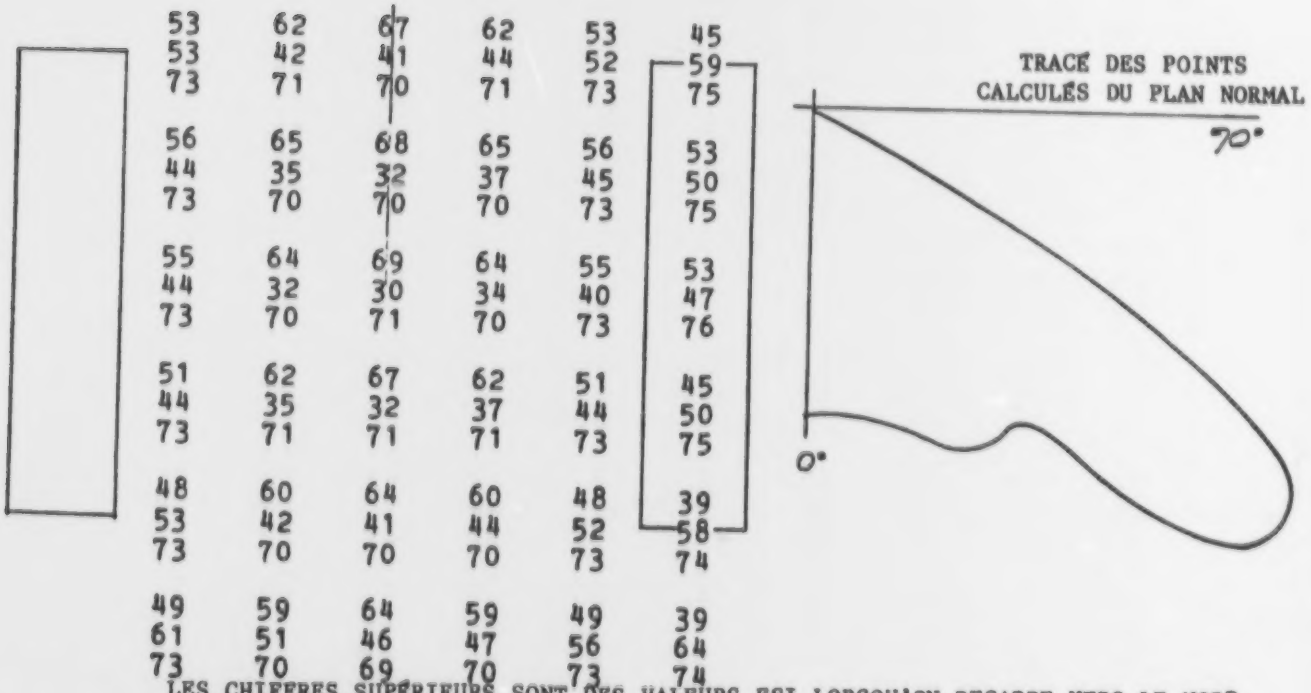
PROJET : EFFET DE LA RÉPARTITION SUR LE E.S.I.
CLIENT : AUCUN

LUMINAIRE: VISIONAIR 22134 B2 FABRICANT: EDISON PRICE RENDEMENT 0,795
LAMPE : 1-F40WW/S MA OU V 430, LUMENS 3250 WATTS (ENTRÉE) 44

PIÈCE : LONGUEUR x LARGEUR x HAUTEUR 36,00 x 36,00 x 8,50
HAUTEUR DU LUMINAIRE 8,50 HAUTEUR DE LA TÂCHE 2,50
RCR 1,67 FLOOR CAVITY REFLECTANCE 0,19
FACTEUR DE RÉFLEXION - PLAFOND, MUR ET PLANCHER 0,80 0,50 0,20

DIVERS : ESPACEMENT: 6 RANGÉES 6,00 PI CENTRÉES x 6 LUMINAIRES 6,00 PI CEN.
LUMINANCE - PLAFOND, MURS ET PLANCHER 11 16 12
PAS DE REFROIDISSEMENT PAR L'AIR 1,000 PI. CA/LUMINAIRE 36,00
WATTS/PI. CA 1,22
AMORTISSEMENT DES LAMPES 0,91 ANNÉES/REMPLACEMENT 3,00
DÉPRÉCIATION-SALETÉ 0,94 ANNÉES/NETTOYAGE 6,00

SOMMAIRE FC ET ESI:	FOOTCANDLES (BRUTS)	ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) NORD-SUD	EST-OUEST	LES DEUX
MOYENNE	72	57	45	51
MAXIMUM	76	69	64	69
MINIMUM	69	39	30	30
ÉCART MOYEN %	2	12	15	13
L/L — ESL/L	59	46	37	42



LES CHIFFRES SUPÉRIEURS SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE VERS LE NORD DANS LE SENS LONGITUDINAL.
LES CHIFFRES AU MILIEU SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE TRANSVERSALEMENT VERS L'OUEST.
LES CHIFFRES INFÉRIEURS SONT DES LUMENS/PI. CA (FC) - PAS D'OMBRE DU CORPS
POINTS CALCULÉS 1,00 CENTRÉS NORD-SUD x 1,00 EST-OUEST -

PROGRAMME: ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) 22 JANVIER 1982

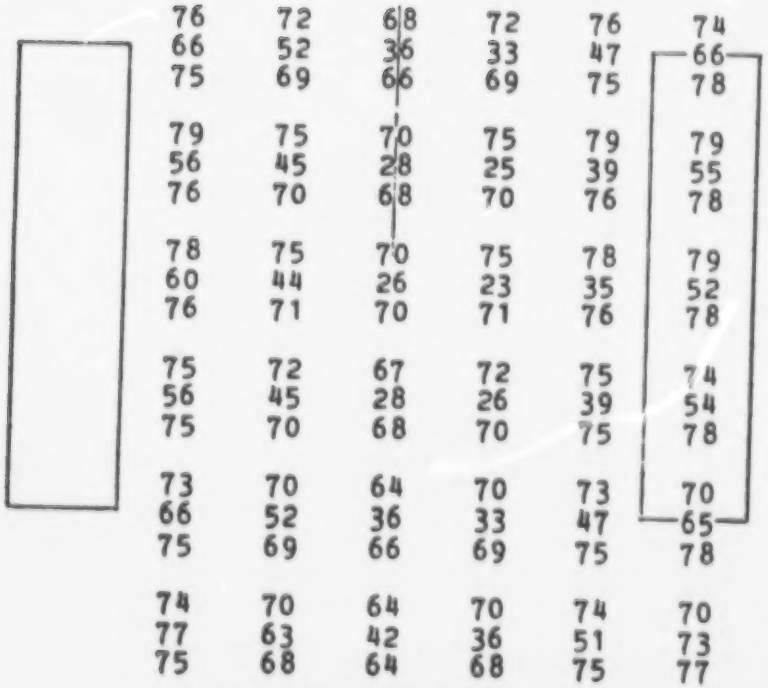
PROJET : EFFET DE LA RÉPARTITION SUR LE E.S.I.
CLIENT : AUCUN

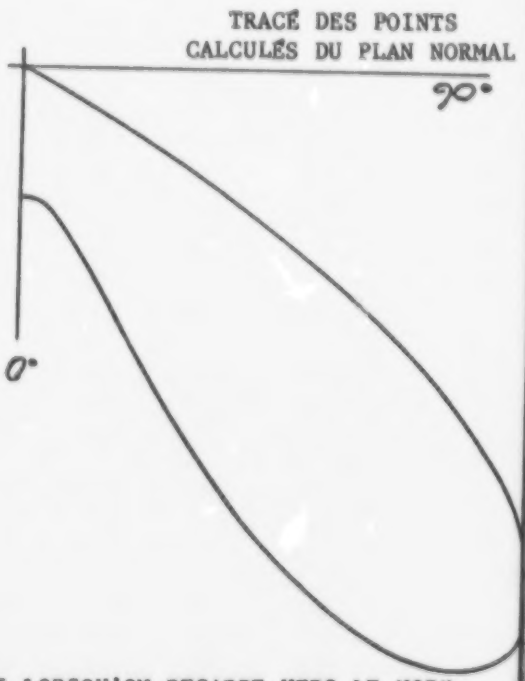
LUMINAIRE: DF7 FABRICANT: EDISON PRICE RENDEMENT 0,580
LAMPE : 1-F40WW/S MA OU V 430, LUMENS 3250 WATTS (ENTRÉE) 44

PIÈCE : LONGUEUR x LARGEUR x HAUTEUR 36,00 x 36,00 x 8,50
HAUTEUR DU LUMINAIRE 8,50 HAUTEUR DE LA TÂCHE 2,50
RCR 1,67 FLOOR CAVITY REFLECTANCE 0,19
FACTEUR DE RÉFLEXION - PLAFOND, MUR ET PLANCHER 0,80 0,50 0,20

DIVERS : ESPACEMENT: 6 RANGÉES 6,00 PI CENTRÉES x 6 LUMINAIRES 6,00 PI CEN.
LUMINANCE - PLAFOND, MURS ET PLANCHER 11 18 12
FACTEUR D'ÉGALISATION 1,370 PI. CA/LUMIN. 36,00 WATTS/PI. CA 1,22
AMORTISSEMENT DES LAMPES 0,91 ANNÉES/REMPLACEMENT 3,00
DÉPRÉCIATION-SALETÉ 0,94 ANNÉES/NETTOYAGE 6,00

SOMMAIRE FC ET ESI:	FOOTCANDLES (BRUTS)	ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) NORD-SUD	EST-OUEST	LES DEUX
MOYENNE	72	73	47	60
MAXIMUM	78	79	77	79
MINIMUM	64	64	23	23
ÉCART MOYEN %	5	4	26	13
L/L -- ESL/L	59	60	38	49





LES CHIFFRES SUPÉRIEURS SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE VERS LE NORD DANS LE SENS LONGITUDINAL.
LES CHIFFRES AU MILIEU SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE TRANSVERSALEMENT VERS L'OUEST.
LES CHIFFRES INFÉRIEURS SONT DES LUMENS/PI. CA (FC) - PAS D'OMBRE DU CORPS
POINTS CALCULÉS 1,00 CENTRES NORD-SUD x 1,00 EST-OUEST -

PROGRAMME: ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) 21 JANVIER 1982

PROJET : EFFET DE LA RÉPARTITION SUR LE E.S.I.
CLIENT : AUCUN

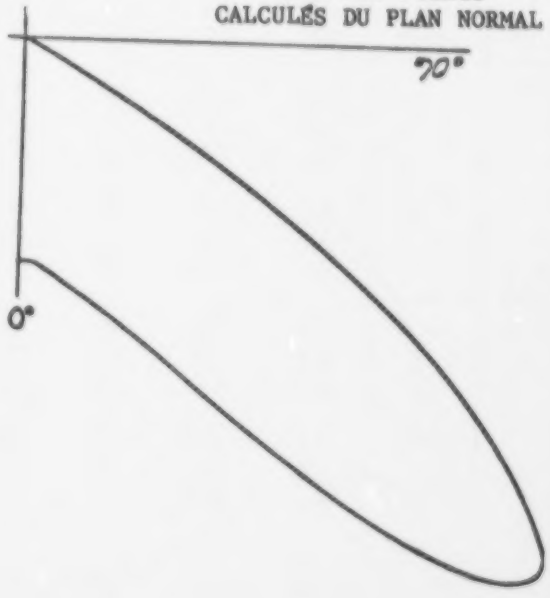
LUMINAIRE: DF10V FABRICANT: EDISON PRICE RENDEMENT 0,727
LAMPE : 2-F40T10 MA OU V 430, LUMENS 3250 WATTS (ENTRÉE) 88

PIÈCE : LONGUEUR x LARGEUR x HAUTEUR 36,00 x 36,00 x 8,50
HAUTEUR DU LUMINAIRE 8,50 HAUTEUR DE LA TÂCHE 2,50
RCR 1,67 FLOOR CAVITY REFLECTANCE 0,19
FACTEUR DE RÉFLEXION - PLAFOND, MUR ET PLANCHER 0,80 0,50 0,20

DIVERS : ESPACEMENT: 6 RANGÉES 6,00 PI CENTRÉES x 6 LUMINAIRES 6,00 PI CEN.
LUMINANCE - PLAFOND, MURS ET PLANCHER 11 16 12
FACTEUR D'ÉGALISATION 0,551 PI. CA/LUMIN. 36,00 WATTS/PI. CA 2,44
AMORTISSEMENT DES LAMPES 0,91 ANNÉES/REMPLACEMENT 3,00
DÉPRÉCIATION-SALETÉ 0,94 ANNÉES/NETTOYAGE 6,00

SOMMAIRE FC ET ESI:	FOOTCANDLES (BRUTS)	ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI)		
		NORD-SUD	EST-OUEST	LES DEUX
MOYENNE	72	56	42	49
MAXIMUM	76	63	62	63
MINIMUM	69	43	28	28
ÉCART MOYEN %	3	7	17	11
L/L -- ESL/L	30	23	17	20

55	59	60	59	55	49
52	42	38	38	46	55
74	71	69	71	74	75
58	62	62	62	58	57
43	35	30	31	39	46
74	71	69	71	74	75
57	62	63	62	57	57
44	34	28	28	35	43
74	71	70	71	74	76
53	60	61	60	53	49
43	35	30	31	39	46
74	71	70	71	74	75
50	57	59	57	50	43
53	42	39	39	46	55
74	71	69	71	74	74
51	57	58	57	51	44
62	52	44	42	50	62
73	71	69	71	73	74



LES CHIFFRES SUPÉRIEURS SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE VERS LE NORD DANS LE SENS LONGITUDINAL.
LES CHIFFRES AU MILIEU SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE TRANSVERSALEMENT VERS L'OUEST.
LES CHIFFRES INFÉRIEURS SONT DES LUMENS/PI. CA (FC) - PAS D'OMBRE DU CORPS
POINTS CALCULÉS 1,00 CENTRÉS NORD-SUD x 1,00 EST-OUEST -

PROGRAMME: ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) 22 JANVIER 1982

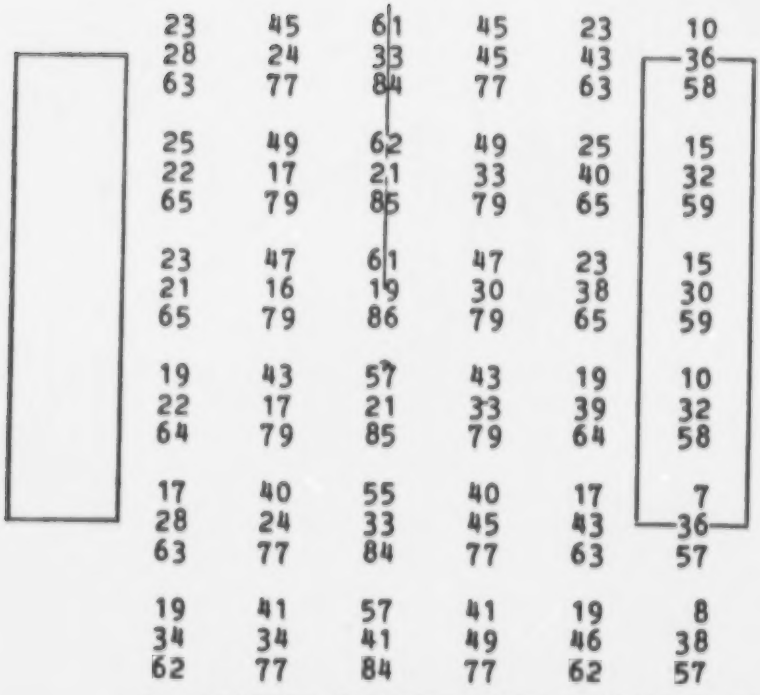
PROJET : EFFET DE LA RÉPARTITION SUR LE E.S.I.
CLIENT : AUCUN

LUMINAIRE: LIGHTOLIER #68533 FABRICANT: LIGHTOLIER E RENDEMENT 0,596
LAMPE : 1-F40WW/S MA OU V 430, LUMENS 3250 WATTS (ENTRÉE) 44

PIÈCE : LONGUEUR x LARGEUR x HAUTEUR 36,00 x 36,00 x 8,50
HAUTEUR DU LUMINAIRE 8,50 HAUTEUR DE LA TÂCHE 2,50
RCR 1,67 FLOOR CAVITY REFLECTANCE 0,19
FACTEUR DE RÉFLEXION - PLAFOND, MUR ET PLANCHER 0,80 0,50 0,20

DIVERS : ESPACEMENT: 6 RANGÉES 6,00 PI CENTRÉES x 6 LUMINAIRES 6,00 PI CEN.
LUMINANCE - PLAFOND, MURS ET PLANCHER 10 12 13
FACTEUR D'ÉGALISATION 1,333 PI. CA/LUMIN. 36,00 WATTS/PI. CA 1,22
AMORTISSEMENT DES LAMPES 0,91 ANNÉES/REMPLACEMENT 3,00
DÉPRÉCIATION-SALETÉ 0,94 ANNÉES/NETTOYAGE 6,00

SOMMAIRE FC ET ESI:	FOOTCANDLES (BRUTS)	ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) NORD-SUD	EST-OUEST	LES DEUX
MOYENNE	71	33	32	33
MAXIMUM	86	62	49	62
MINIMUM	57	7	16	7
ÉCART MOYEN %	13	47	24	36
L/L -- ESL/L	58	27	26	27



LES CHIFFRES SUPÉRIEURS SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE VERS LE NORD DANS LE SENS LONGITUDINAL.
LES CHIFFRES AU MILIEU SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE TRANSVERSALEMENT VERS L'OUEST.
LES CHIFFRES INFÉRIEURS SONT DES LUMENS/PI. CA (FC) - PAS D'OMBRE DU CORPS
POINTS CALCULÉS 1,00 CENTRÉS NORD-SUD x 1,00 EST-OUEST -

PROGRAMME: ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) 22 JANVIER 1982

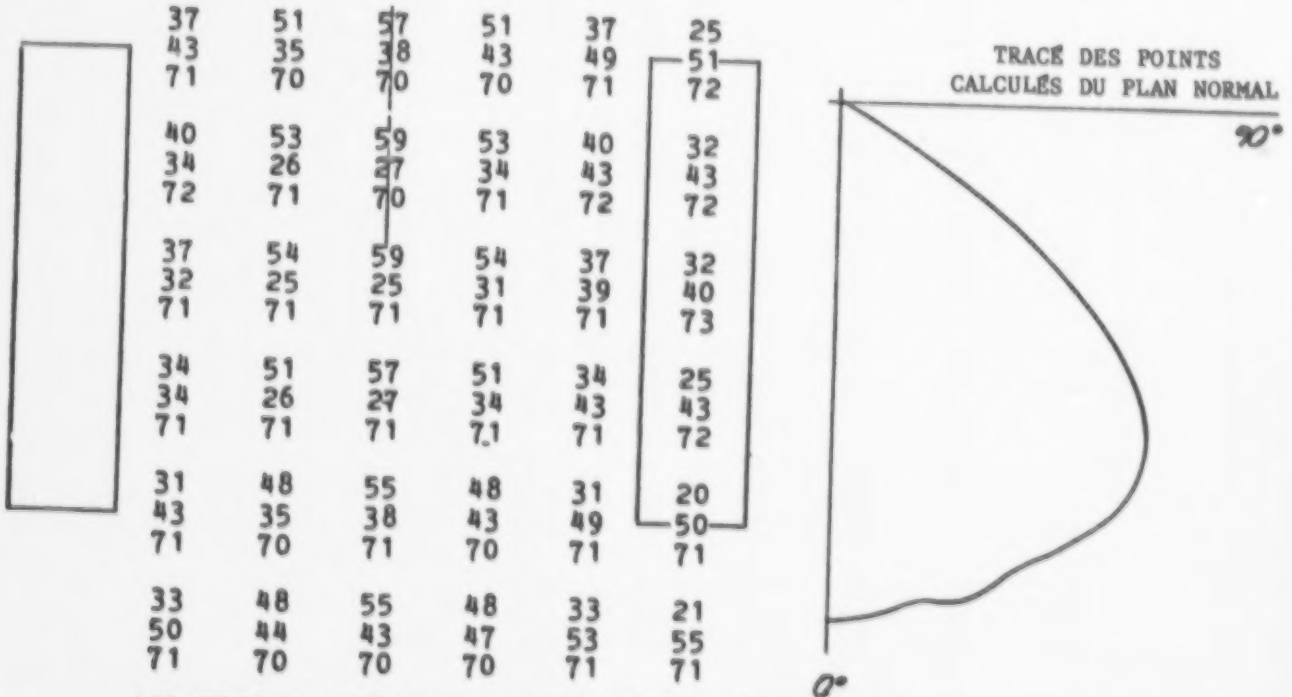
PROJET : EFFET DE LA RÉPARTITION SUR LE E.S.I.
CLIENT : AUCUN

LUMINAIRE: HOLOPHANE 8224 FABRICANT: HOLOPHANE RENDEMENT 0,653
LAMPE : 1-F40WW/S MA OU V 430, LUMENS 3250 WATTS (ENTRÉE) 44

PIÈCE : LONGUEUR x LARGEUR x HAUTEUR 36,00 x 36,00 x 8,50
HAUTEUR DU LUMINAIRE 8,50 HAUTEUR DE LA TÂCHE 2,50
RCR 1,67 FLOOR CAVITY REFLECTANCE 0,19
FACTEUR DE RÉFLEXION - PLAFOND, MUR ET PLANCHER 0,80 0,50 0,20

DIVERS : ESPACEMENT: 6 RANGÉES 6,00 PI CENTRÉES x 6 LUMINAIRES 6,00 PI CEN.
LUMINANCE - PLAFOND, MURS ET PLANCHER 10 15 12
FACTEUR D'ÉGALISATION 1,214 PI. CA/LUMIN. 36,00 WATTS/PI. CA 1,22
AMORTISSEMENT DES LAMPES 0,91 ANNÉES/REMPLACEMENT 3,00
DÉPRÉCIATION-SALETÉ 0,94 ANNÉES/NETTOYAGE 6,00

SOMMAIRE FC ET ESI:	FOOTCANDLES (BRUTS)	ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) NORD-SUD	EST-OUEST	LES DEUX
MOYENNE	71	42	39	41
MAXIMUM	73	59	55	59
MINIMUM	70	20	25	20
ÉCART MOYEN %	1	24	18	21
L/L -- ESL/L	58	35	32	33



LES CHIFFRES SUPÉRIEURS SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE VERS LE NORD DANS LE SENS LONGITUDINAL.
LES CHIFFRES AU MILIEU SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE TRANSVERSALEMENT VERS L'OUEST.
LES CHIFFRES INFÉRIEURS SONT DES LUMENS/PI. CA (FC) - PAS D'OMBRE DU CORPS
POINTS CALCULÉS 1,00 CENTRÉS NORD-SUD x 1,00 EST-OUEST -

PROGRAMME: ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) 22 JANVIER 1982

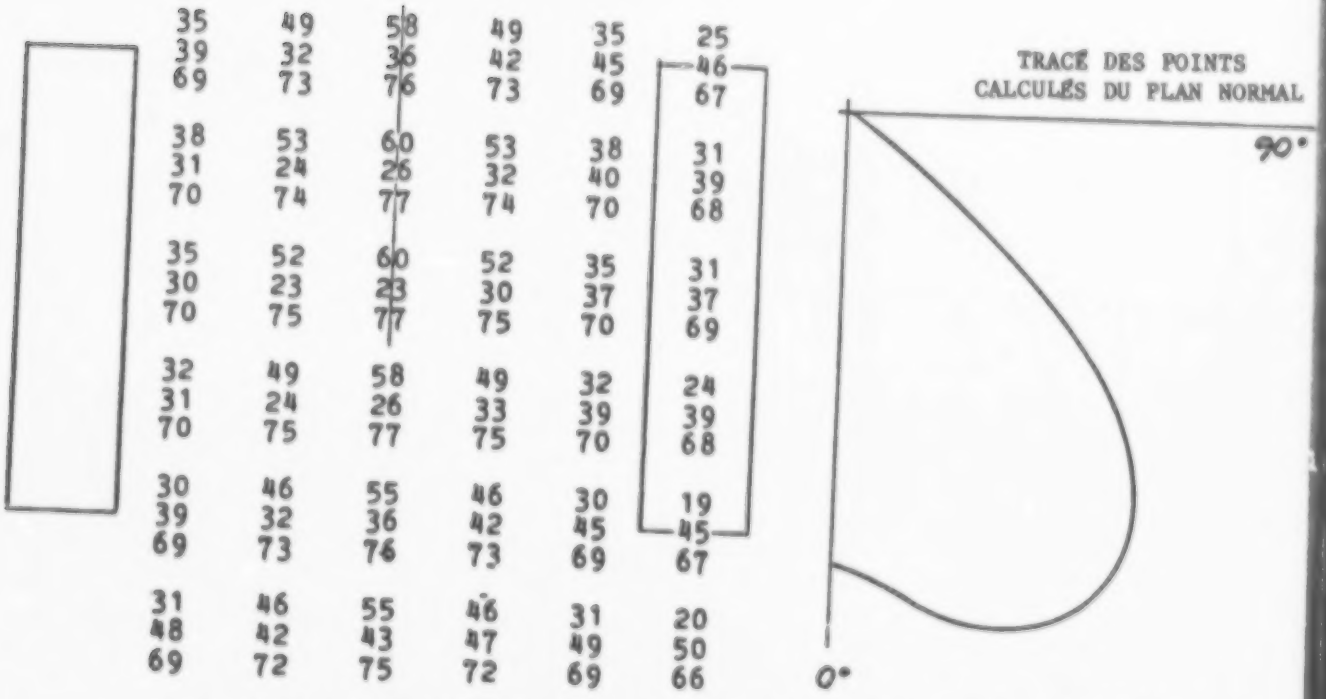
PROJET : EFFET DE LA RÉPARTITION SUR LE E.S.I.
CLIENT : AUCUN

LUMINAIRE: COLUMBIA DP-240 FABRICANT: COLUMBIA RENDEMENT 0,579
LAMPE : 2-F40WW/S MA OU V 430, LUMENS 3250 WATTS (ENTRÉE) 88

PIÈCE : LONGUEUR x LARGEUR x HAUTEUR 36,00 x 36,00 x 8,50
HAUTEUR DU LUMINAIRE 8,50 HAUTEUR DE LA TÂCHE 2,50
RCR 1,67 FLOOR CAVITY REFLECTANCE 0,19
FACTEUR DE RÉFLEXION - PLAFOND, MUR ET PLANCHER 0,80 0,50 0,20

DIVERS : ESPACEMENT: 6 RANGÉES 6,00 PI CENTRÉES x 6 LUMINAIRES 6,00 PI CEN.
LUMINANCE - PLAFOND, MURS ET PLANCHER 10 14 12
FACTEUR D'ÉGALISATION 0,692 PI. CA/LUMIN. 36,00 WATTS/PI. CA 2,44
AMORTISSEMENT DES LAMPES 0,91 ANNÉES/REMPLACEMENT 3,00
DÉPRÉCIATION-SALETÉ 0,94 ANNÉES/NETTOYAGE 6,00

SOMMAIRE FC ET ESI:	FOOTCANDLES (BRUTS)	ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) NORD-SUD	EST-OUEST	LES DEUX
MOYENNE	72	41	37	39
MAXIMUM	77	60	50	60
MINIMUM	66	19	23	19
ÉCART MOYEN %	4	26	18	22
L/L — ESL/L	29	17	15	16



LES CHIFFRES SUPÉRIEURS SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE VERS LE NORD DANS LE SENS LONGITUDINAL.
LES CHIFFRES AU MILIEU SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE TRANSVERSALEMENT VERS L'OUEST.
LES CHIFFRES INFÉRIEURS SONT DES LUMENS/PI. CA (FC) - PAS D'OMBRE DU CORPS
POINTS CALCULÉS 1,00 CENTRÉS NORD-SUD x 1,00 EST-OUEST -

PROGRAMME: ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) 20 JANVIER 1982

PROJET : ESI/SUPERFICIE PAR LUMINAIRE
CLIENT : AUCUN

LUMINAIRE: VISIONAIR 22134 B2 FABRICANT: EDISON PRICE INC. RENDEMENT 0,795
LAMPE : 1-F40WW/S MA OU V 430, LUMENS 3250 WATTS (ENTRÉE) 19

PIÈCE : LONGUEUR x LARGEUR x HAUTEUR 40,00 x 40,00 x 8,50
HAUTEUR DU LUMINAIRE 8,50 HAUTEUR DE LA TÂCHE 2,50
RCR 1,50 FLOOR CAVITY REFLECTANCE 0,19
FACTEUR DE RÉFLEXION - PLAFOND, MUR ET PLANCHER 0,80 0,50 0,20

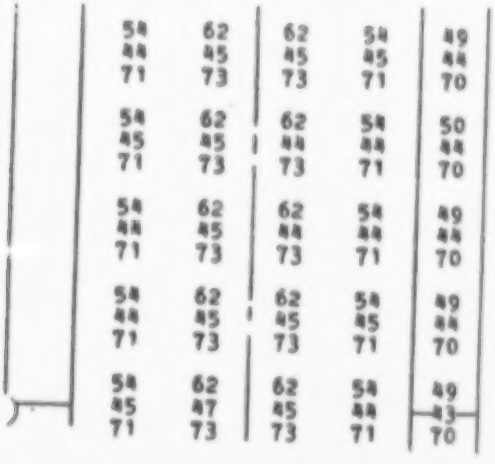
DIVERS : ESPACEMENT: 10 RANGÉES 4,00 PI CENTRÉES x 10 LUMINAIRES 4,00 PI CEN.
LUMINANCE - PLAFOND, MURS ET PLANCHER 11 18 12
FACTEUR D'AIRE 0,444 PI. CA/LUMINAIRE 16,00 WATTS/PI. CA 1,19
AMORTISSEMENT DES LAMPES 0,90 ANNÉES/REMPLACEMENT 3,00
DÉPRÉCIATION-SALETÉ 0,94 ANNÉES/NETTOYAGE 6,00

SOMMAIRE FC ET ESI:	FOOTCANDLES (BRUTS)	ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) NORD-SUD	EST-OUEST	LES DEUX
MOYENNE	72	56	45	50
MAXIMUM	73	62	47	62
MINIMUM	70	49	43	43
ÉCART MOYEN %	1	8	1	5
L/L -- ESL/L	60	47	38	42

ANALYSE DES COÛTS:

	COÛT PAR PI. CA	100 ESL
COÛT INITIAL: LUMINAIRE $60; LAMPES $1,80; MONTAGE $30	$5,74	$11,39
FRAIS D'EXPLOIT./ANNÉE DE 3280 HRS.: ÉNERGIE/KWH $0,100 + LAMPES	0,43	0,85
VALEUR ACTUALISÉE AVEC AMORT. SUR 10 ANS, TAUX D'INTÉRÊT 12,0%	8,15	16,17
VALEUR ACT. AVEC 10% D'AUGMENTATION ANN. DES PRIX DE L'ÉNERGIE	9,16	18,18

AXE CENTRAL DE LA PIÈCE



4 x 4

AXE CENTRAL DE LA PIÈCE

LES CHIFFRES SUPÉRIEURS SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE VERS LE NORD DANS LE SENS LONGITUDINAL.
LES CHIFFRES AU MILIEU SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE TRANSVERSALEMENT VERS L'OUEST.
LES CHIFFRES INFÉRIEURS SONT DES LUMENS/PI. CA (FC) - PAS D'OMBRE DU CORPS
POINTS CALCULÉS 0,80 CENTRÉS NORD-SUD x 0,80 EST-OUEST -

PROGRAMME: ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) 20 JANVIER 1982

PROJET : ESI/SUPERFICIE PAR LUMINAIRE
CLIENT : AUCUN

LUMINAIRE: VISIONAIR 22134 B2 FABRICANT: EDISON PRICE INC. RENDEMENT 0,795
LAMPE : 1-F40WW/S MA OU V 430, LUMENS 3250 WATTS (ENTRÉE) 30

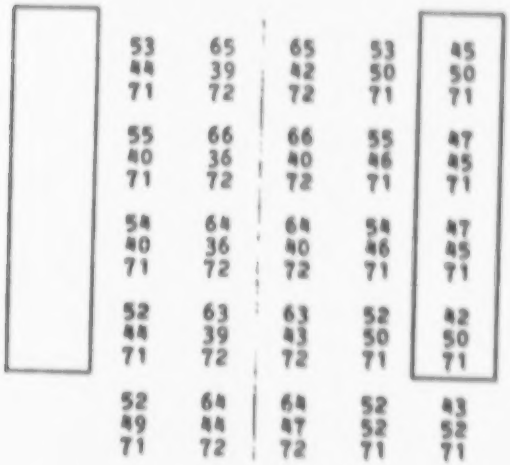
PIÈCE : LONGUEUR x LARGEUR x HAUTEUR 40,00 x 40,00 x 8,50
HAUTEUR DU LUMINAIRE 8,50 HAUTEUR DE LA TÂCHE 2,50
RCR 1,50 FLOOR CAVITY REFLECTANCE 0,19
FACTEUR DE RÉFLEXION - PLAFOND, MUR ET PLANCHER 0,80 0,50 0,20

DIVERS : ESPACEMENT: 8 RANGÉES 5,00 PI CENTRÉES x 8 LUMINAIRES 5,00 PI CEN.
LUMINANCE - PLAFOND, MURS ET PLANCHER 11 17 12
FACTEUR D'AIRE 0,694 PI. CA/LUMINAIRE 25,00 WATTS/PI. CA 1,20
AMORTISSEMENT DES LAMPES 0,90 ANNÉES/REMPLACEMENT 3,00
DÉPRÉCIATION-SALETÉ 0,94 ANNÉES/NETTOYAGE 6,00

SOMMAIRE FC ET ESI:	FOOTCANDLES (BRUTS)	ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) NORD-SUD	EST-OUEST	LES DEUX
MOYENNE	71	56	44	50
MAXIMUM	72	66	52	66
MINIMUM	71	42	36	36
ÉCART MOYEN %	1	12	9	10
L/L -- ESL/L	59	47	37	42

ANALYSE DES COÛTS:	COÛT PAR PI. CA	100 ESL
COÛT INITIAL: LUMINAIRE $60; LAMPES $1,80; MONTAGE $30	$3,67	$ 7,31
FRAIS D'EXPLOIT./ANNÉE DE 3280 HRS.: ÉNERGIE/KWH $0,100 + LAMPES	0,42	0,83
VALEUR ACTUALISÉE AVEC AMORT. SUR 10 ANS, TAUX D'INTÉRÊT 12,0%	6,03	12,01
VALEUR ACT. AVEC 10% D'AUGMENTATION ANN. DES PRIX DE L'ÉNERGIE	7,05	14,04

AXE CENTRAL DE LA PIÈCE



5 x 5

AXE CENTRAL DE LA PIÈCE

LES CHIFFRES SUPÉRIEURS SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE VERS LE NORD DANS LE SENS LONGITUDINAL.

LES CHIFFRES AU MILIEU SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE TRANSVERSALEMENT VERS L'OUEST.

LES CHIFFRES INFÉRIEURS SONT DES LUMENS/PI. CA (FC) - PAS D'OMBRE DU CORPS

POINTS CALCULÉS 1,00 CENTRÉS NORD-SUD x 1,00 EST-OUEST -

PROGRAMME: ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) 21 JANVIER 1982

PROJET : ESI/SUPERFICIE PAR LUMINAIRE
CLIENT : AUCUN

LUMINAIRE: VISIONAIR 22134 B2 FABRICANT: EDISON PRICE INC. RENDEMENT 0,795
LAMPE : 1-F40WW/S MA OU V 430, LUMENS 3250 WATTS (ENTRÉE) 44

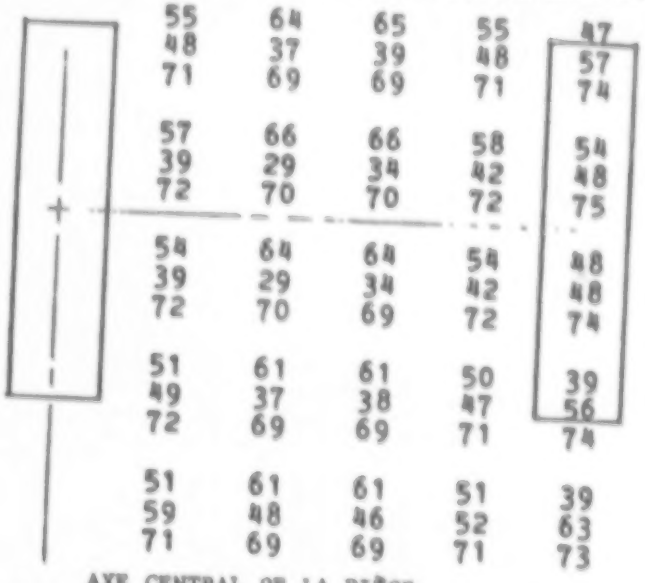
PIÈCE : LONGUEUR x LARGEUR x HAUTEUR 42,00 x 42,00 x 8,50
HAUTEUR DU LUMINAIRE 8,50 HAUTEUR DE LA TÂCHE 2,50
RCR 1,43 FLOOR CAVITY REFLECTANCE 0,20
FACTEUR DE RÉFLEXION - PLAFOND, MUR ET PLANCHER 0,80 0,50 0,20

DIVERS : ESPACEMENT: 7 RANGÉES 6,00 PI CENTRÉES x 7 LUMINAIRES 6,00 PI CEN.
LUMINANCE - PLAFOND, MURS ET PLANCHER 11 16 12
PAS DE FACTEUR 1,000 PI. CA/LUMINAIRE 36,00 WATTS/PI. CA 1,22
AMORTISSEMENT DES LAMPES 0,90 ANNÉES/REMPLACEMENT 3,00
DÉPRÉCIATION-SALETÉ 0,94 ANNÉES/NETTOYAGE 6,00

SOMMAIRE FC ET ESI:	FOOTCANDLES (BRUTS)	ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) NORD-SUD	EST-OUEST	LES DEUX
MOYENNE	71	56	44	50
MAXIMUM	75	66	63	66
MINIMUM	69	39	29	29
ÉCART MOYEN %	2	11	17	14
L/L -- ESL/L	58	46	36	41

ANALYSE DES COÛTS:

	COÛT PAR PI. CA	100 ESL
COÛT INITIAL: LUMINAIRE $60; LAMPES $1,80; MONTAGE $30	$2,55	$ 5,09
FRAIS D'EXPLOIT./ANNÉE DE 3280 HRS.: ÉNERGIE/KWH $0,100 + LAMPES	0,42	0,83
VALEUR ACTUALISÉE AVEC AMORT. SUR 10 ANS, TAUX D'INTÉRÊT 12,0%	4,91	9,79
VALEUR ACT. AVEC 10% D'AUGMENTATION ANN. DES PRIX DE L'ÉNERGIE	5,95	11,87



LES CHIFFRES SUPÉRIEURS SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE VERS LE NORD DANS LE SENS LONGITUDINAL.
LES CHIFFRES AU MILIEU SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE TRANSVERSALEMENT VERS L'OUEST.
LES CHIFFRES INFÉRIEURS SONT DES LUMENS/PI. CA (FC) - PAS D'OMBRE DU CORPS
POINTS CALCULÉS 1,20 CENTRÉS NORD-SUD x 1,20 EST-OUEST -

PROGRAMME: ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) 21 JANVIER 1982

PROJET : ESI/SUPERFICIE PAR LUMINAIRE
CLIENT : AUCUN

LUMINAIRE: VISIONAIR 22134 B2 FABRICANT: EDISON PRICE INC. RENDEMENT 0,795
LAMPE : 1-F40WW/S MA OU V 430, LUMENS 3250 WATTS (ENTRÉE) 59

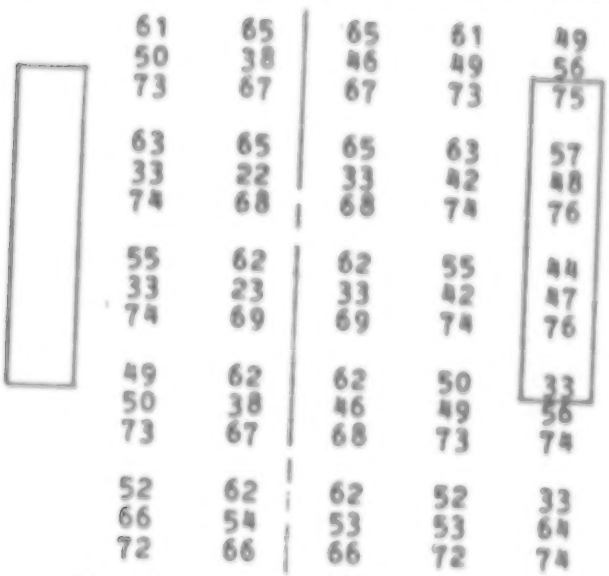
PIÈCE : LONGUEUR x LARGEUR x HAUTEUR 42,00 x 42,00 x 8,50
HAUTEUR DU LUMINAIRE 8,50 HAUTEUR DE LA TÂCHE 2,50
RCR 1,43 FLOOR CAVITY REFLECTANCE 0,20
FACTEUR DE RÉFLEXION - PLAFOND, MUR ET PLANCHER 0,80 0,50 0,20

DIVERS : ESPACEMENT: 6 RANGÉES 7,00 PI CENTRÉES x 6 LUMINAIRES 7,00 PI CEN.
LUMINANCE - PLAFOND, MURS ET PLANCHER 11 16 12
FACTEUR D'AIRE 1,361 PI. CA/LUMINAIRE 49,00 WATTS/PI. CA 1,20
AMORTISSEMENT DES LAMPES 0,90 ANNÉES/REMPLACEMENT 3,00
DÉPRÉCIATION-SALETÉ 0,94 ANNÉES/NETTOYAGE 6,00

SOMMAIRE FC ET ESI:	FOOTCANDLES (BRUTS)	ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) NORD-SUD	EST-OUEST	LES DEUX
MOYENNE	71	56	45	51
MAXIMUM	76	65	66	66
MINIMUM	66	33	22	22
ÉCART MOYEN %	4	13	20	16
L/L — ESL/L	59	47	37	42

ANALYSE DES COÛTS:	COÛT PAR PI. CA	100 ESL
COÛT INITIAL: LUMINAIRE $60; LAMPES $1,80; MONTAGE $30	$1,87	$ 3,69
FRAIS D'EXPLOIT./ANNÉE DE 3280 HRS.: ÉNERGIE/KWH $0,100 + LAMPES	0,41	0,80
VALEUR ACTUALISÉE AVEC AMORT. SUR 10 ANS, TAUX D'INTÉRÊT 12,0%	4,17	8,23
VALEUR ACT. AVEC 10% D'AUGMENTATION ANN. DES PRIX DE L'ÉNERGIE	5,20	10,25

AXE CENTRAL DE LA PIÈCE



7 x 7

AXE CENTRAL DE LA PIÈCE

LES CHIFFRES SUPÉRIEURS SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE VERS LE NORD DANS LE SENS LONGITUDINAL.

LES CHIFFRES AU MILIEU SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE TRANSVERSALEMENT VERS L'OUEST.

LES CHIFFRES INFÉRIEURS SONT DES LUMENS/PI. CA (FC) - PAS D'OMBRE DU CORPS

POINTS CALCULÉS 1,40 CENTRÉS NORD-SUD x 1,40 EST-OUEST -

PROGRAMME: ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) 21 JANVIER 1982

PROJET : ESI/SUPERFICIE PAR LUMINAIRE
CLIENT : AUCUN

LUMINAIRE: VISIONAIR 22134 B2 FABRICANT: EDISON PRICE INC. RENDEMENT 0,795
LAMPE : 1-F40WW/S MA OU V 430, LUMENS 3250 WATTS (ENTRÉE) 78

PIÈCE : LONGUEUR x LARGEUR x HAUTEUR 40,00 x 40,00 x 8,50
HAUTEUR DU LUMINAIRE 8,50 HAUTEUR DE LA TÂCHE 2,50
RCR 1,50 FLOOR CAVITY REFLECTANCE 0,19
FACTEUR DE RÉFLEXION - PLAFOND, MUR ET PLANCHER 0,80 0,50 0,20

DIVERS : ESPACEMENT: 5 RANGÉES 8,00 PI CENTRÉES x 5 LUMINAIRES 8,00 PI CEN.
LUMINANCE - PLAFOND, MURS ET PLANCHER 10 16 12
FACTEUR D'AIRE 1,778 PI. CA/LUMINAIRE 64,00 WATTS/PI. CA 1,22
AMORTISSEMENT DES LAMPES 0,90 ANNÉES/REMPLACEMENT 3,00
DÉPRÉCIATION-SALETÉ 0,94 ANNÉES/NETTOYAGE 6,00

SOMMAIRE FC ET ESI:	FOOTCANDLES (BRUTS)	ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) NORD-SUD	EST-OUEST	LES DEUX
MOYENNE	71	38	46	52
MAXIMUM	75	74	68	74
MINIMUM	66	24	20	20
ÉCART MOYEN %	3	20	24	22
L/L -- ESL/L	38	47	38	43

ANALYSE DES COÛTS:

COÛT INITIAL: LUMINAIRE $60; LAMPES $1,80; MONTAGE $30	COÛT PAR PI. CA	100 ESL
FRAIS D'EXPLOIT./ANNÉE DE 3280 HRS.: ÉNERGIE/KWH $0,100 + LAMPES	$1,43	$ 2,76
VALEUR ACTUALISÉE AVEC AMORT. SUR 10 ANS, TAUX D'INTÉRÊT 12,0%	0,41	0,79
VALEUR ACT. AVEC 10% D'AUGMENTATION ANN. DES PRIX DE L'ÉNERGIE	3,75	7,21
	4,78	9,21

8 x 8

LES CHIFFRES SUPÉRIEURS SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE VERS LE NORD DANS LE SENS LONGITUDINAL.
LES CHIFFRES AU MILIEU SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE TRANSVERSALEMENT VERS L'OUEST.
LES CHIFFRES INFÉRIEURS SONT DES LUMENS/PI. CA (FC) - PAS D'OMBRE DU CORPS
POINTS CALCULÉS 1,60 CENTRÉS NORD-SUD x 1,60 EST-OUEST -

PROGRAMME: ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) 21 JANVIER 1982

PROJET : ESI/SUPERFICIE PAR LUMINAIRE
CLIENT : AUCUN

LUMINAIRE: VISIONAIR 22134 B2 FABRICANT: EDISON PRICE INC. RENDEMENT 0,795
LAMPE : 1-F40WW/S MA OU V 430, LUMENS 3250 WATTS (ENTRÉE) 122

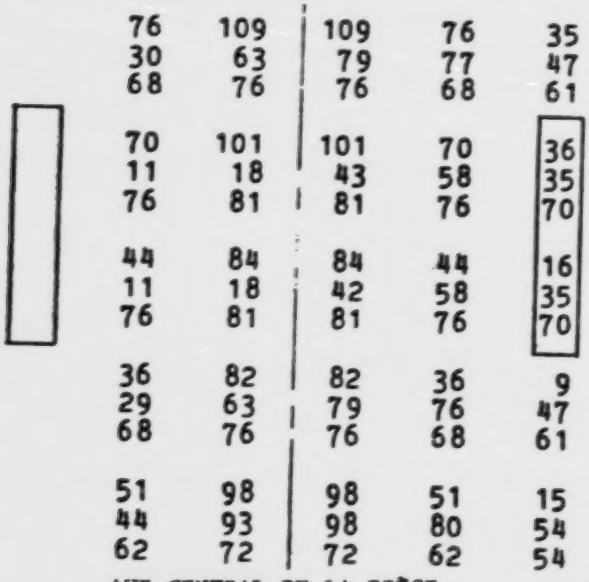
PIÈCE : LONGUEUR x LARGEUR x HAUTEUR 40,00 x 40,00 x 8,50
HAUTEUR DU LUMINAIRE 8,50 HAUTEUR DE LA TÂCHE 2,50
RCR 1,50 FLOOR CAVITY REFLECTANCE 0,19
FACTEUR DE RÉFLEXION - PLAFOND, MUR ET PLANCHER 0,80 0,50 0,20

DIVERS : ESPACEMENT: 4 RANGÉES 10,00 PI CENTRÉES x 4 LUMINAIRES 10,00 PI CEN.
LUMINANCE - PLAFOND, MURS ET PLANCHER 11 16 12
FACTEUR D'AIRE 2,778 PI. CA/LUMINAIRE 100,00 WATTS/PI. CA 1,22
AMORTISSEMENT DES LAMPES 0,91 ANNÉES/REMPLACEMENT 3,00
DÉPRÉCIATION-SALETÉ 0,94 ANNÉES/NETTOYAGE 6,00

SOMMAIRE FC ET ESI:	FOOTCANDLES (BRUTS)	ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) NORD-SUD	EST-OUEST	LES DEUX
MOYENNE	72	65	52	58
MAXIMUM	81	109	98	109
MINIMUM	54	9	11	9
ÉCART MOYEN %	9	42	40	41
L/L -- ESL/L	59	53	42	48

ANALYSE DES COÛTS:	COÛT PAR PI. CA	100 ESL
COÛT INITIAL: LUMINAIRE $60; LAMPES $1,80; MONTAGE $30	$0,92	$ 1,58
FRAIS D'EXPLOIT./ANNÉE DE 3280 HRS.: ÉNERGIE/KWH $0,100 + LAMPES	0,41	0,70
VALEUR ACTUALISÉE AVEC AMORT. SUR 10 ANS, TAUX D'INTÉRÊT 12,0%	3,21	5,53
VALEUR ACT. AVEC 10% D'AUGMENTATION ANN. DES PRIX DE L'ÉNERGIE	4,25	7,32

AXE CENTRAL DE LA PIÈCE



10 x 10

AXE CENTRAL DE LA PIÈCE

LES CHIFFRES SUPÉRIEURS SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE VERS LE NORD DANS LE SENS LONGITUDINAL.
LES CHIFFRES AU MILIEU SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE TRANSVERSALEMENT VERS L'OUEST.
LES CHIFFRES INFÉRIEURS SONT DES LUMENS/PI. CA (FC) - PAS D'OMBRE DU CORPS
POINTS CALCULÉS 2,00 CENTRÉS NORD-SUD x 2,00 EST-OUEST -

PROGRAMME: ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) 21 JANVIER 1982

PROJET : ESI/SUPERFICIE PAR LUMINAIRE
CLIENT : AUCUN

LUMINAIRE: VISIONAIR 22134 B2 FABRICANT: EDISON PRICE INC. RENDEMENT 0,795
LAMPE : 1-F40WW/S MA OU V 430, LUMENS 3250 WATTS (ENTRÉE) 239

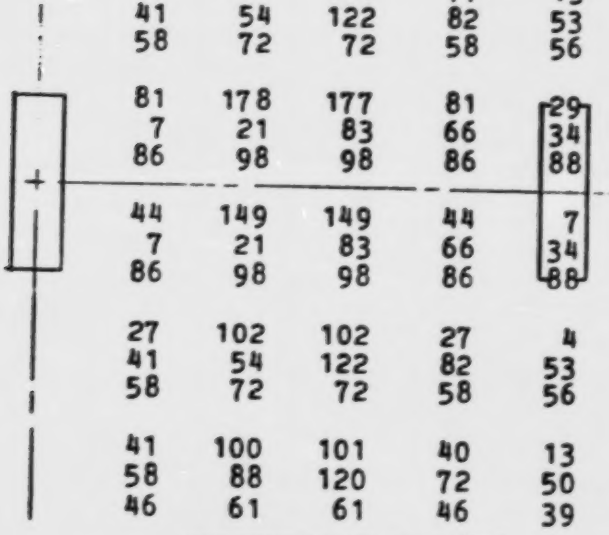
PIÈCE : LONGUEUR x LARGEUR x HAUTEUR 42,00 x 42,00 x 8,50
HAUTEUR DU LUMINAIRE 8,50 HAUTEUR DE LA TÂCHE 2,50
RCR 1,43 FLOOR CAVITY REFLECTANCE 0,20
FACTEUR DE RÉFLEXION - PLAFOND, MUR ET PLANCHER 0,80 0,50 0,20

DIVERS : ESPACEMENT: 3 RANGÉES 14,00 PI CENTRÉES x 3 LUMINAIRES 14,00 PI CEN.
LUMINANCE - PLAFOND, MURS ET PLANCHER 10 13 13
FACTEUR D'AIRE 5,444 PI. CA/LUMINAIRE 196,00 WATTS/PI. CA 1,22
AMORTISSEMENT DES LAMPES 0,91 ANNÉES/REMPLACEMENT 3,00
DÉPRÉCIATION-SALETÉ 0,94 ANNÉES/NETTOYAGE 6,00

SOMMAIRE FC ET ESI:	FOOTCANDLES (BRUTS)	ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) NORD-SUD	EST-OUEST	LES DEUX
MOYENNE	72	78	61	69
MAXIMUM	98	178	122	178
MINIMUM	39	4	7	4
ÉCART MOYEN %	21	58	42	51
L/L -- ESL/L	59	64	50	57

ANALYSE DES COÛTS:	COÛT PAR PI. CA	100 ESL
COÛT INITIAL: LUMINAIRE $60; LAMPES $1,80; MONTAGE $30	$0,47	$ 0,68
FRAIS D'EXPLOIT./ANNÉE DE 3280 HRS.: ÉNERGIE/KWH $0,100 + LAMPES	0,40	0,58
VALEUR ACTUALISÉE AVEC AMORT. SUR 10 ANS, TAUX D'INTÉRÊT 12,0%	2,75	3,97
VALEUR ACT. AVEC 10% D'AUGMENTATION ANN. DES PRIX DE L'ÉNERGIE	3,78	5,46

AXE CENTRAL DE LA PIÈCE



14 x 14

AXE CENTRAL DE LA PIÈCE

LES CHIFFRES SUPÉRIEURS SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE VERS LE NORD DANS LE SENS LONGITUDINAL.
LES CHIFFRES AU MILIEU SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE TRANSVERSALEMENT VERS L'OUEST.
LES CHIFFRES INFÉRIEURS SONT DES LUMENS/PI. CA (FC) - PAS D'OMBRE DU CORPS
POINTS CALCULÉS 2,80 CENTRÉS NORD-SUD x 2,80 EST-OUEST -

PROGRAMME: ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) 13 DÉCEMBRE 1979

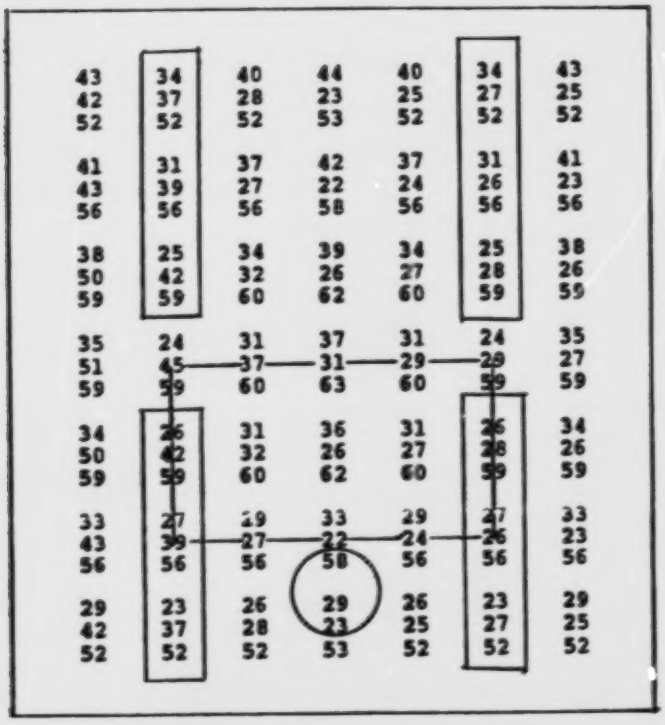
PROJET : S.S.A. BALTIMORE
CLIENT : OWENS-CORNING FIBERGLASS

LUMINAIRE: DF12B2 FABRICANT: EDISON PRICE INC. RENDEMENT 0,795
LAMPE : 1-F40WW/S MA OU V 430, LUMENS 3250 WATTS (ENTRÉE) 44

PIÈCE : LONGUEUR x LARGEUR x HAUTEUR 10,00 x 10,00 x 9,00
HAUTEUR DU LUMINAIRE 9,00 HAUTEUR DE LA TÂCHE 2,50
RCR 6,50 FLOOR CAVITY REFLECTANCE 0,20
FACTEUR DE RÉFLEXION - PLAFOND, MUR ET PLANCHER 0,80 0,60 0,20

DIVERS : ESPACEMENT: 2 RANGÉES 5,00 PI CENTRÉES x 2 LUMINAIRES 5,00 PI CEN.
LUMINANCE - PLAFOND, MURS ET PLANCHER 17 26 11
FACTEUR D'ADJ. AIR 1,014 PI. CA/LUMINAIRE 25,00 WATTS/PI. CA 1,76
AMORTISSEMENT DES LAMPES 0,92 ANNÉES/REMPLACEMENT 3,00
DÉPRÉCIATION-SALETÉ 0,93 ANNÉES/NETTOYAGE 6,00

SOMMAIRE FC ET ESI:	FOOTCANDLES (BRUTS)	ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) NORD-SUD	EST-OUEST	LES DEUX
MOYENNE	57	33	31	32
MAXIMUM	63	44	51	51
MINIMUM	52	23	22	22
ÉCART MOYEN %	5	15	22	18
L/L — ESL/L	32	19	18	18



32

LES CHIFFRES SUPÉRIEURS SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE VERS LE NORD DANS LE SENS LONGITUDINAL.
LES CHIFFRES AU MILIEU SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE TRANSVERSALEMENT VERS L'OUEST.
LES CHIFFRES INFÉRIEURS SONT DES LUMENS/PI. CA (FC) - PAS D'OMBRE DU CORPS
POINTS CALCULÉS 1,25 CENTRÉS NORD-SUD x 1,25 EST-OUEST -

PROGRAMME: ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) 1er FÉVRIER 1978

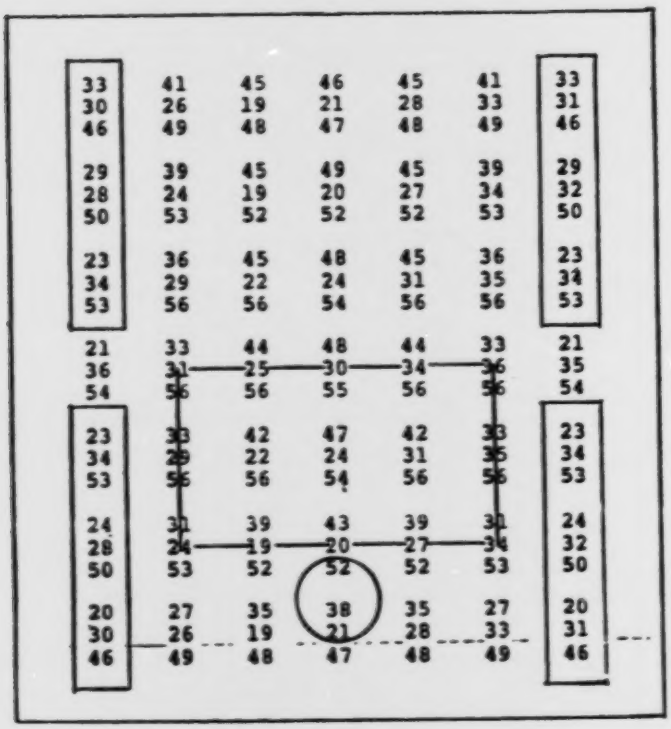
PROJET : S.S.A. BALTIMORE
CLIENT : OWENS-CORNING FIBERGLASS

LUMINAIRE: DF12B2 FABRICANT: EDISON PRICE INC. RENDEMENT 0,795
LAMPE : 1-F40WW/S MA OU V 430, LUMENS 3250 WATTS (ENTRÉE) 44

PIÈCE : LONGUEUR x LARGEUR x HAUTEUR 10,00 x 10,00 x 9,00
HAUTEUR DU LUMINAIRE 9,00 HAUTEUR DE LA TÂCHE 2,50
RCR 6,50 FLOOR CAVITY REFLECTANCE 0,20
FACTEUR DE RÉFLEXION - PLAFOND, MUR ET PLANCHER 0,80 0,60 0,20

DIVERS : ESPACEMENT: 2 RANGÉES 7,50 PI CENTRÉES x 2 LUMINAIRES 5,00 PI CEN.
LUMINANCE - PLAFOND, MURS ET PLANCHER 16 23 12
FACTEUR D'ADJ. AIR 1,014 PI. CA/LUMINAIRE 25,00 WATTS/PI. CA 1,76
AMORTISSEMENT DES LAMPES 0,92 ANNÉES/REMPLACEMENT 3,00
DÉPRÉCIATION-SALETÉ 0,93 ANNÉES/NETTOYAGE 6,00

SOMMAIRE FC ET ESI:	FOOTCANDLES (BRUTS)	ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) NORD-SUD	EST-OUEST	LES DEUX
MOYENNE	52	35	28	32
MAXIMUM	56	49	36	49
MINIMUM	46	20	19	19
ÉCART MOYEN %	5	22	16	19
L/L — ESL/L	30	20	16	18



44

LES CHIFFRES SUPÉRIEURS SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE VERS LE NORD DANS LE SENS LONGITUDINAL.
LES CHIFFRES AU MILIEU SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE TRANSVERSALEMENT VERS L'OUEST.
LES CHIFFRES INFÉRIEURS SONT DES LUMENS/PI. CA (FC) - PAS D'OMBRE DU CORPS
POINTS CALCULÉS 1,25 CENTRÉS NORD-SUD x 1,25 EST-OUEST -

PROGRAMME: ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) 1er FÉVRIER 1978

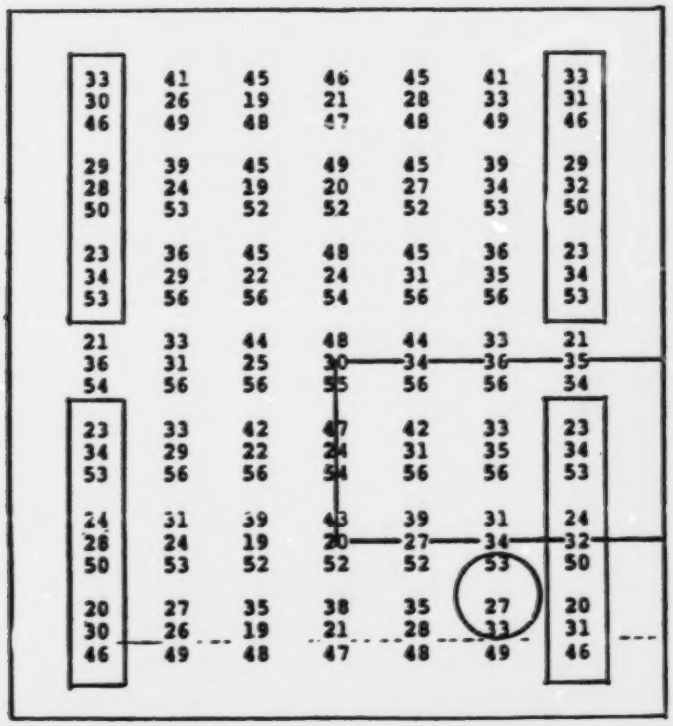
PROJET : S.S.A. BALTIMORE 17
CLIENT : OWENS-CORNING FIBERGLASS

LUMINAIRE: DF12B2 FABRICANT: EDISON PRICE INC. RENDEMENT 0,795
LAMPE : 1-F40WW/S MA OU V 430, LUMENS 3250 WATTS (ENTRÉE) 44

PIÈCE : LONGUEUR x LARGEUR x HAUTEUR 10,00 x 10,00 x 9,00
HAUTEUR DU LUMINAIRE 9,00 HAUTEUR DE LA TÂCHE 2,50
RCR 6,50 FLOOR CAVITY REFLECTANCE 0,20
FACTEUR DE RÉFLEXION - PLAFOND, MUR ET PLANCHER 0,80 0,60 0,20

DIVERS : ESPACEMENT: 2 RANGÉES 7,50 PI CENTRÉES x 2 LUMINAIRES 5,00 PI CEN.
LUMINANCE - PLAFOND, MURS ET PLANCHER 16 23 12
FACTEUR D'ADJ. AIR 1,014 PI. CA/LUMINAIRE 25,00 WATTS/PI. CA 1,76
AMORTISSEMENT DES LAMPES 0,92 ANNÉES/REMPLACEMENT 3,00
DÉPRÉCIATION-SALETÉ 0,93 ANNÉES/NETTOYAGE 6,00

SOMMAIRE FC ET ESI:	FOOTCANDLES (BRUTS)	ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) NORD-SUD	EST-OUEST	LES DEUX
MOYENNE	52	35	28	32
MAXIMUM	56	49	36	49
MINIMUM	46	20	19	19
ÉCART MOYEN %	5	22	16	19
L/L — ESL/L	30	20	16	18



32

LES CHIFFRES SUPÉRIEURS SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE VERS LE NORD DANS LE SENS LONGITUDINAL.
LES CHIFFRES AU MILIEU SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE TRANSVERSALEMENT VERS L'OUEST.
LES CHIFFRES INFÉRIEURS SONT DES LUMENS/PI. CA (FC) - PAS D'OMBRE DU CORPS
POINTS CALCULÉS 1,25 CENTRÉS NORD-SUD x 1,25 EST-OUEST -

PROGRAMME: ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) 17 FÉVRIER 1978

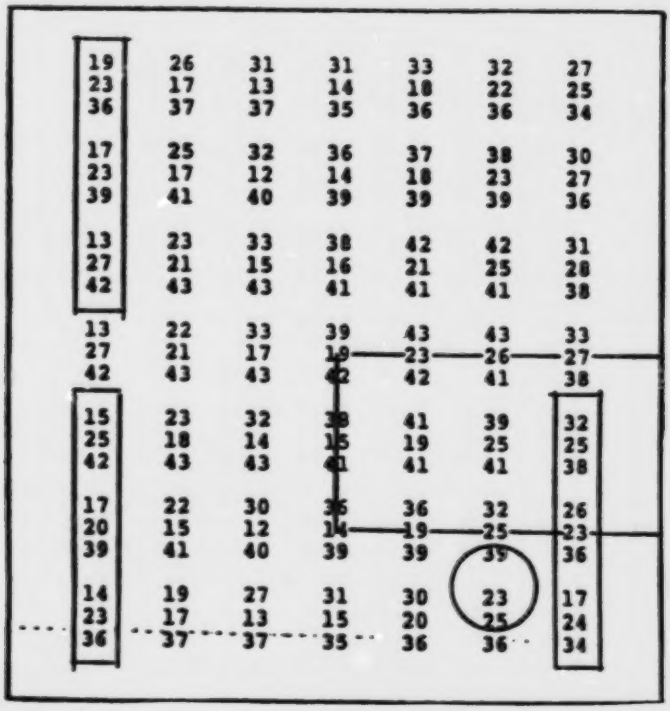
PROJET : S.S.A. BALTIMORE
CLIENT : OWENS-CORNING FIBERGLASS

LUMINAIRE: DF12B2 FABRICANT: EDISON PRICE INC. RENDEMENT 0,795
LAMPE : 1-F40WW/S MA OU V 430, LUMENS 3250 WATTS (ENTRÉE) 44

PIÈCE : LONGUEUR x LARGEUR x HAUTEUR 10,00 x 10,00 x 9,00
HAUTEUR DU LUMINAIRE 9,00 HAUTEUR DE LA TÂCHE 2,50
RCR 6,50 FLOOR CAVITY REFLECTANCE 0,20
FACTEUR DE RÉFLEXION - PLAFOND, MUR ET PLANCHER 0,80 0,60 0,20

DIVERS : ???
LUMINANCE - PLAFOND, MURS ET PLANCHER 12 18 9
FACTEUR D'ADJ. AIR 1,014 PI. CA/LUMINAIRE 33,33 WATTS/PI. CA 1,32
AMORTISSEMENT DES LAMPES 0,92 ANNÉES/REMPLACEMENT 3,00
DÉPRÉCIATION-SALETÉ 0,93 ANNÉES/NETTOYAGE 6,00

SOMMAIRE FC ET ESI:	FOOTCANDLES (BRUTS)	ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) NORD-SUD	EST-OUEST	LES DEUX
MOYENNE	39	29	20	25
MAXIMUM	43	43	28	43
MINIMUM	34	13	12	12
ÉCART MOYEN %	6	24	21	23
L/L — ESL/L	30	22	15	19



LES CHIFFRES SUPÉRIEURS SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE VERS LE NORD DANS LE SENS LONGITUDINAL.
LES CHIFFRES AU MILIEU SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE TRANSVERSALEMENT VERS L'OUEST.
LES CHIFFRES INFÉRIEURS SONT DES LUMENS/PI. CA (FC) - PAS D'OMBRE DU CORPS
POINTS CALCULÉS 1,25 CENTRÉS NORD-SUD x 1,25 EST-OUEST -

PROGRAMME: ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) 1er FÉVRIER 1978

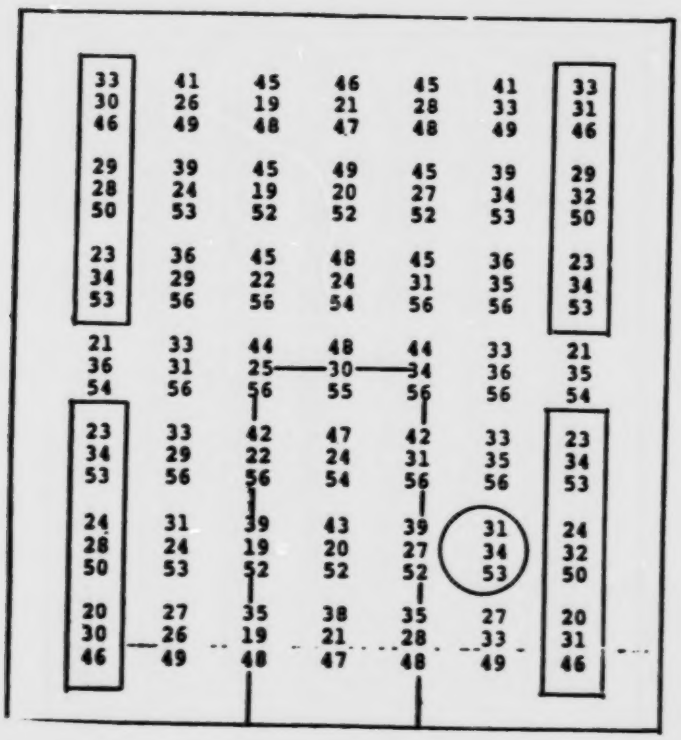
PROJET : S.S.A. BALTIMORE
CLIENT : OWENS-CORNING FIBERGLASS

LUMINAIRE: DF12B2 FABRICANT: EDISON PRICE INC. RENDEMENT 0,795
LAMPE : 1-F40WW/S MA OU V 430, LUMENS 3250 WATTS (ENTRÉE) 44

PIÈCE : LONGUEUR x LARGEUR x HAUTEUR 10,00 x 10,00 x 9,00
HAUTEUR DU LUMINAIRE 9,00 HAUTEUR DE LA TÂCHE 2,50
RCR 6,50 FLOOR CAVITY REFLECTANCE 0,20
FACTEUR DE RÉFLEXION - PLAFOND, MUR ET PLANCHER 0,80 0,60 0,20

DIVERS : ESPACEMENT: 2 RANGÉES 7,50 PI CENTRÉES x 2 LUMINAIRES 5,00 PI CEN.
LUMINANCE - PLAFOND, MURS ET PLANCHER 16 23 12
FACTEUR D'ADJ. AIR 1,014 PI. CA/LUMINAIRE 25,00 WATTS/PI. CA 1,76
AMORTISSEMENT DES LAMPES 0,92 ANNÉES/REMPLACEMENT 3,00
DÉPRÉCIATION-SALETÉ 0,93 ANNÉES/NETTOYAGE 6,00

SOMMAIRE FC ET ESI:	FOOTCANDLES (BRUTS)	ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) NORD-SUD	EST-OUEST	LES DEUX
MOYENNE	52	35	28	32
MAXIMUM	56	49	36	49
MINIMUM	46	20	19	19
ÉCART MOYEN %	5	22	16	19
L/L — ESL/L	30	20	16	18



25

LES CHIFFRES SUPÉRIEURS SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE VERS LE NORD DANS LE SENS LONGITUDINAL.
LES CHIFFRES AU MILIEU SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE TRANSVERSALEMENT VERS L'OUEST.
LES CHIFFRES INFÉRIEURS SONT DES LUMENS/PI. CA (FC) - PAS D'OMBRE DU CORPS
POINTS CALCULÉS 1,25 CENTRÉS NORD-SUD x 1,25 EST-OUEST -

PROGRAMME: ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) 20 FÉVRIER 1978

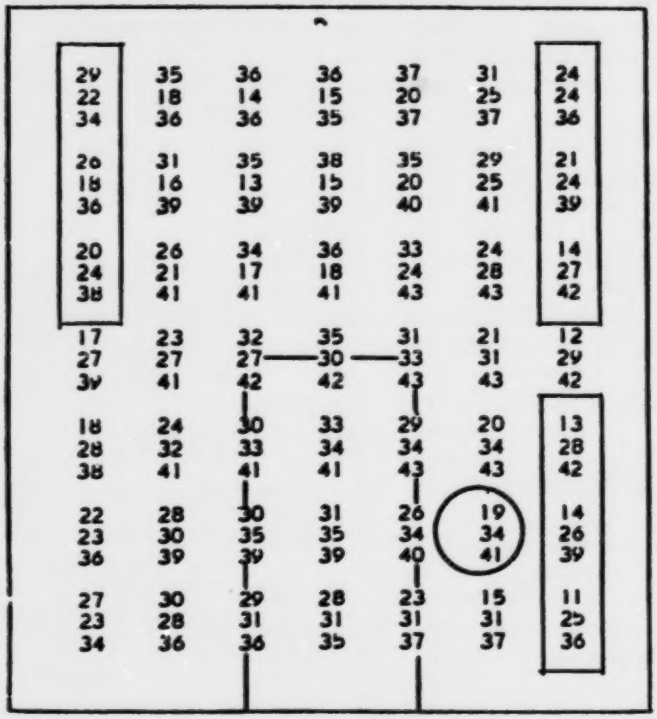
PROJET : S.S.A. BALTIMORE
CLIENT : OWENS-CORNING FIBERGLASS

LUMINAIRE: DF12B2 FABRICANT: EDISON PRICE INC. RENDEMENT 0,795
LAMPE : 1-F40WW/S MA OU V 380, LUMENS 3250 WATTS (ENTRÉE) 44

PIÈCE : LONGUEUR x LARGEUR x HAUTEUR 10,00 x 10,00 x 9,00
HAUTEUR DU LUMINAIRE 9,00 HAUTEUR DE LA TÂCHE 2,50
RCR 6,50 FLOOR CAVITY REFLECTANCE 0,20
FACTEUR DE RÉFLEXION - PLAFOND, MUR ET PLANCHER 0,80 0,60 0,20

DIVERS : AGENCEMENT - AGENCEMENT SPÉCIAL J
LUMINANCE - PLAFOND, MURS ET PLANCHER 12 18 9
FACTEUR D'ADJ. AIR 1,014 PI. CA/LUMINAIRE 33,33 WATTS/PI. CA 1,32
AMORTISSEMENT DES LAMPES 0,92 ANNÉES/REMPLACEMENT 3,00
DÉPRÉCIATION-SALETÉ 0,93 ANNÉES/NETTOYAGE 6,00

SOMMAIRE FC ET ESI:	FOOTCANDLES (BRUTS)	ÉCLAIREMENT SPHÉRIQUE ÉQUIVALENT (ESI) NORD-SUD	EST-OUEST	LES DEUX
MOYENNE	39	27	26	26
MAXIMUM	43	38	35	38
MINIMUM	34	11	13	11
ÉCART MOYEN %	6	23	20	22
L/L — ESL/L	30	20	20	20



33

LES CHIFFRES SUPÉRIEURS SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE VERS LE NORD DANS LE SENS LONGITUDINAL.
LES CHIFFRES AU MILIEU SONT DES VALEURS ESI LORSQU'ON REGARDE TRANSVERSALEMENT VERS L'OUEST.
LES CHIFFRES INFÉRIEURS SONT DES LUMENS/PI. CA (FC) - PAS D'OMBRE DU CORPS
POINTS CALCULÉS 1,25 CENTRÉS NORD-SUD x 1,25 EST-OUEST -

Sam Berman
Energy and Research Division
Lawrence Berkeley Laboratory
University of California
Berkeley, California 94720

ABOUT THE AUTHOR

Sam Berman was the originator and is presently the principal investigator of the lighting research program of the Lawrence Berkeley Laboratory at the University of California. He received his Ph.D. in physics in 1958 from the California Institute of Technology and was a member of the faculty of Stanford University from 1962 to 1977. He has received awards and fellowships from the National Science Foundation, the Ford Foundation, the John Simon Guggenheim Foundation, the Alfred P. Sloane Foundation, the Asia Foundation, and (jointly with several colleagues) the MacArthur Foundation. He has been a consultant to various industrial firms and government organizations and is the author of approximately 60 scientific and technical papers in the fields of physics, engineering, energy policy, and lighting science.

Sam Berman
Energy and Research Division
Lawrence Berkeley Laboratory
University of California
Berkeley, Californie 94720

L'AUTEUR

Sam Berman est l'instigateur et actuellement chercheur principal du programme de recherches en matière d'éclairage du Lawrence Berkeley Laboratory de l'University of California. Il a reçu son doctorat en physique en 1958 du California Institute of Technology et a été membre du corps professoral de la Stanford University de 1962 à 1977. M. Berman a été lauréat et boursier de la National Science foundation, de la Ford Foundation, de la John Simon Guggenheim Foundation, de la Alfred P. Sloane Foundation, de la Asia Foundation et, concurremment avec plusieurs collègues, de la MacArthur Foundation. Il a été expert-conseil auprès de diverses sociétés industrielles et organisations gouvernementales et a signé une soixantaine d'études scientifiques et techniques portant sur la physique, le génie, la politique énergétique et l'éclairagisme.

Robert Clear, Ph.D.
Energy and Research Division
Lawrence Berkeley Laboratory
University of California
Berkeley, California 94720

ABOUT THE AUTHOR

Robert Clear earned his doctoral degree in Chemistry from the University of California at San Diego in 1975. From 1975 to 1978 he studied residential energy use at the Lawrence Berkeley Laboratory. Since 1978 his work has been on lighting and visibility. He completed his first paper on visibility in 1979.

Robert Clear, Ph.D.
Energy and Research Division
Lawrence Berkeley Laboratory
University of California
Berkeley, Californie 94720

L'AUTEUR

Robert Clear a reçu son doctorat en chimie de l'University of California à San Diego en 1975. De 1975 à 1978, il a étudié la consommation de l'énergie dans les maisons résidentielles au Lawrence Berkeley Laboratory. Depuis 1978, ses travaux portent sur l'éclairage et la visibilité. Sa première étude sur la visibilité a été parachevée en 1979.

ABSTRACT

The problem of determining the appropriate light levels for visual tasks is a cost-benefit problem. Existing light level recommendations seriously underweight the importance of economic factors. Furthermore, the relative importance of the visibility factors in determining the optimal light levels appears inconsistent with the importance of these factors in determining visibility and visual performance.

We show that calculations based on acuities give a lower limit of 100-200 lux for cost-effective light levels for office tasks. Upper limits are calculated from correlations of task performance to visibility levels. Visibility levels become progressively insensitive to luminance as luminance increases. Average power densities above 100 watts/m^2 are cost-effective only when visibility is very low. However, there is a 3-to-10 times larger increase in benefits from improving contrast or contrast sensitivity than from using more than 10 watts/m^2. Contrast or contrast sensitivity can be improved by using forms with larger print, using xerographic copy instead of carbon or mimeograph, making sure office workers have the right eyeglasses, or even by transferring workers with visual problems to less visually demanding tasks. Once these changes are made it is no longer cost-effective to use more than 10 watts/m^2. This conclusion raises serious questions about recommendations that lead to greater than about 10 watts/m^2 of installed lighting for general office work.

RÉSUMÉ

La détermination des niveaux d'éclairement appropriés, pour les tâches visuelles, est un problème coût-bénéfice. Les recommandations existantes sous-estiment grandement l'importance des facteurs économiques. De plus, l'importance relative des facteurs de visibilité dans la détermination du niveau d'éclairement optimal semble en contradiction avec l'importance de ces facteurs dans la détermination de la visibilité et de la performance visuelle.

Nous montrons que, en ce qui concerne les tâches de bureau, des calculs basés sur les acuités donnent une limite inférieure de 100-200 lux pour des niveaux d'éclairement rentables. Les limites supérieures sont calculées à partir de corrélations entre la performance de la tâche et les niveaux de visibilité. Les niveaux de visibilité deviennent progressivement insensibles à la luminance lorsque cette dernière augmente. Des puissances par mètre carré moyens supérieurs à 100 watts/m^2 sont rentables seulement lorsque la visibilité est très faible. Par contre, il est 3 à 10 fois plus rentable d'améliorer le contraste ou la sensibilité différentielle plutôt que d'utiliser une puissance par mètre carré supérieur à 10 watts/m^2. On peut améliorer le contraste ou la sensibilité différentielle de diverses façons: en utilisant des caractères d'imprimerie plus gros, en se servant de l'impression xérographique plutôt que du papier carbone ou de la polycopie, en s'assurant que les employés portent les verres appropriés, ou même en assignant aux employés souffrant de troubles de la vision des tâches moins exigeantes au point de vue visuel. Lorsque tous les changements ont été effectués, il n'est plus rentable d'utiliser un éclairement énergétique supérieur à 10 watts/m^2. Cette conclusion remet sérieusement en question les recommandations à l'effet que la puissance par mètre carré installé dans les bureaux soit supérieur à 10 watts/m^2.

RELATING PRODUCTIVITY TO VISIBILITY AND LIGHTING

Lighting Criteria as an Economic Problem

In trying to develop a logical method of integrating visual performance criteria into the design, specification, and evaluation of interior lighting systems, it is helpful to realize that this is a problem of both visual science and economics. Economics enters into the problem because the interest of the user is in the benefits that are derived from the lighting, not in the lighting itself. The user does not have a direct interest in visibility and visual performance. Instead, the user is interested in these attributes of the lighting system because of the belief that they are correlated to productivity, safety, and freedom from visual fatigue. Since these benefits have economic value, the determination of visual performance criteria can be stated as an economic problem.

The lighting levels required for adequate productivity will usually be more than adequate for safety and freedom from visual fatigue. In addition, many of the safety-related issues involve different visual tasks than those affecting productivity. We assume that the issues of safety and visual fatigue can be dealt with separately and will not generally affect the visual performance criteria for tasks that affect productivity. There seems to be no reason why other attributes of lighting, such as discomfort glare or the subtle cues involved in subjective evaluations of a space, should be functions of, or be correlated to, the visual performance potential of the tasks that affect productivity. We therefore assume that these attributes, too, can be evaluated and dealt with without affecting visual performance criteria. We will therefore concentrate on just the productivity/visual performance/visibility relationships.

EN QUOI LA PRODUCTIVITÉ DÉPEND-ELLE DE LA VISIBILITÉ ET DE L'ÉCLAIRAGE

L'aspect économique des critères d'éclairage

Lorsqu'on tente d'élaborer une méthode logique d'intégration des critères de performance visuelle dans la conception, la spécification et l'évaluation des systèmes d'éclairage intérieur, il est utile d'envisager à la fois les aspects visuels et économiques du problème. Les facteurs économiques entrent en jeu parce que l'intérêt de l'utilisateur se trouve dans les bénéfices retirés de l'éclairage, non dans l'éclairage lui-même. L'utilisateur ne s'intéresse pas directement à la visibilité et à la performance visuelle. Pour être plus précis, il s'intéresse aux attributs du système d'éclairage car il pense qu'il existe une relation entre ces attributs et la productivité, la sécurité et l'absence de fatigue visuelle. Ces avantages ayant une valeur économique, la détermination des critères de performance visuelle peut être traitée comme un problème économique.

Les niveaux d'éclairement requis pour une productivité adéquate sont généralement plus que suffisants pour assurer la sécurité et l'absence de fatigue visuelle. De plus, un grand nombre d'aspects liés à la sécurité mettent en jeu des tâches visuelles différentes de celles qui ont une incidence sur la productivité. Nous faisons l'hypothèse que les aspects relatifs à la sécurité et à la fatigue visuelle peuvent être traités séparément et qu'ils n'ont généralement pas d'incidence sur les critères de performance visuelle pour les tâches liées à la productivité. Il semble n'y avoir aucune raison pour que d'autres attributs de l'éclairage, comme l'éblouissement inconfortable ou les subtils facteurs entrant en jeu dans les évaluations subjectives d'un espace, puissent être liés au potentiel de performance visuelle pour des tâches ayant une incidence sur la productivité. Nous postulons donc que ces attributs peuvent aussi être évalués et traités en dehors du problème des critères de performance visuelle. Par conséquent, nous nous concentrerons seulement sur les relations entre la productivité, la performance visuelle et la visibilité.

Expressed in economic terms, the problem of integrating visual performance criteria into the design process becomes a problem in determining the cost-effectiveness of achieving a given level of visual performance. A net benefit can be calculated by subtracting the costs (the fixture installation cost, the opportunity cost of money, and the operation and maintenance costs of supplying a level of visual performance) from the value of productivity, where both are calculated as functions of visual performance. The optimal level of visual performance is the level with the highest net benefit[1,2].

Cost-benefit calculations do not appear to have been explicitly used in setting past recommendations. Nonetheless, there has been a close historical correlation between lighting costs and practices[3]. It is evident, therefore, that explicit cost-benefit analysis should be germane to the problem of determining lighting recommendations.

One reason that the cost-benefit approach may not have been used explicitly is that the productivity/lighting relationship is not accurately known. Nonetheless, it only makes sense that any lighting recommendation based on visual performance should be consistent, in terms of cost-effectiveness, with the current state of knowledge. General information and even the lack of knowledge are important in determining the best form for lighting recommendations.

Consider, for example, the 1959 and 1972 IES recommendations of minimum lux or ESI for specific tasks. A simple minimum is adequate to describe the region of maximum net benefit only if: 1) productivity falls rapidly when the lighting is below the target value and is essentially constant at light levels above the target value; 2) the recommended value can be accurately identified; and 3) the cost of lighting is negligible so that there is no net cost for light levels above the minimum. None of these conditions appear realistic for tasks of moderate difficulty.

Le problème économique de l'intégration des critères de performance visuelle dans la conception s'exprime ainsi: dans quelle mesure est-il rentable d'atteindre un niveau donné de performance visuelle? On peut établir un bénéfice net en soustrayant les coûts (le coût d'installation de l'éclairage, le coût alternatif de l'argent, et les frais d'exploitation et d'entretien visant à assurer un niveau de performance visuelle) de la valeur de la productivité, les deux étant calculés en fonction de la performance visuelle. Le niveau optimal de performance visuelle est le niveau associé au plus grand bénéfice net[1,2].

Les calculs de coûts et bénéfices ne semblent pas avoir été utilisés explicitement lors de l'établissement des recommandations existantes. Néanmoins, on trouve un lien historique étroit entre les coûts de l'éclairage et les pratiques[3]. Par conséquent, il est évident que l'on ne peut dissocier une analyse coût-bénéfice explicite du problème de l'élaboration des recommandations en matière d'éclairage.

Une des raisons pour lesquelles l'analyse coût-bénéfice n'a pas été utilisée explicitement est que la relation entre la productivité et l'éclairage n'est pas connue avec précision. Néanmoins, il va de soi que toute recommandation en matière d'éclairage basée sur la performance visuelle doit être en accord, en termes de rentabilité, avec l'état actuel des connaissances. L'information générale et même le manque de connaissances jouent un rôle important dans l'élaboration des meilleures recommandations.

Considérons, par exemple, les recommandations de 1959 et 1972 de l'IES au sujet de l'éclairement lumineux minimum ou de l'ESI pour des tâches spécifiques. Un simple minimum est suffisant pour décrire la zone de bénéfice maximal seulement si: 1) la productivité tombe rapidement lorsque l'éclairement est au-dessous de la valeur cible et si elle est essentiellement constante à deux niveaux d'éclairement supérieurs à la valeur cible; 2) la valeur recommandée peut être établie avec précision; et 3) le coût de l'éclairage est négligeable de telle sorte qu'il n'y a pas de dépenses nettes pour des niveaux d'éclairement supérieurs au minimum. Si l'on considère des tâches de difficulté moyenne, aucune de ces conditions ne semble réaliste.

These recommendations were founded on the work that led to the present CIE system of estimating visual performance (CIE 19/2)[4]. This system relates the fraction given by the actual contrast over the threshold contrast to visual performance. The reference contrast sensitivity (RCS) function increases very rapidly at low light levels and becomes relatively flat at high light levels. This shape implies that a task which requires little light will have a fairly identifiable light level below which productivity drops rapidly[5]. Conversely, for more difficult tasks, productivity should be a gentle function of the lighting near the net benefit maximum. In addition, the net benefit curve may be strongly affected by electrical costs at these higher levels. At 10¢/kwh these costs can be 10 per cent of the rental value of a space at lighting levels as low as 500 lux*. These very general arguments indicate that the optimal light levels should be sensitive functions of both cost and task difficulty for the moderately difficult tasks, and it is therefore dubious that a minimum target value can be specified that has any significance in terms of cost-effectiveness.

Ces recommandations ont été fondées sur les travaux qui ont conduit au système actuel de la CIE d'évaluation de la performance visuelle (CIE 19/2)[4]. Ce système lie le rapport entre le contraste réel et le contraste de seuil à la performance visuelle. La sensibilité différentielle de référence (RCS = Reference Contrast Sensitivity) augmente rapidement lorsque le niveau d'éclairement est faible et devient relativement constante lorsque le niveau d'éclairement est élevé. La forme de la courbe indique que, pour une tâche nécessitant peu de lumière, il sera assez facile d'établir un niveau d'éclairement au-dessous duquel la productivité décroît rapidement[5]. À l'inverse, pour des tâches plus difficiles, la productivité devrait légèrement augmenter en fonction de l'éclairement près du maximum de bénéfice net. De plus, à des niveaux d'éclairement plus élevés, les coûts de l'électricité peuvent avoir une grande incidence sur la courbe de bénéfice net. À 10¢/kwh, ces coûts peuvent représenter 10% des frais de location d'un espace, pour des niveaux d'éclairement aussi faibles que 500 lux*. Ces arguments très généraux indiquent que les niveaux d'éclairement optimaux devraient être des fonctions sensibles du coût et de la difficulté de la tâche pour des tâches modérément difficiles. Il est donc douteux que l'on puisse spécifier une valeur minimale de la valeur cible qui ait une signification quelconque en termes de rentabilité.

---

* We are assuming 30 maintained lumens/watt delivered to the working space for 3000 hours/year. This gives 50 kwh/m^2-year or \$5/m^2-year. Office space rental in the San Francisco Bay Area (1/82) ranged from \$50-150/m^2-year. The lower end of the range gives the 10 per cent value. Since Bay Area rentals are high, the cost of lighting may be relatively higher elsewhere.

* Nous supposons un régime soutenu de 30 lumens/watt, dans les bureaux pendant 3 000 heures/an. Cela donne 50 kwh/m^2·an ou \$5/m^2·an. La location de l'espace à bureaux dans la région de San Francisco (1/82) varie entre \$50 et \$150/m^2·an. La limite inférieure de la zone donne le 10 pour cent. Les loyers dans la Baie étant élevés, le coût de l'éclairage risque d'être relativement plus élevé ailleurs.

Visual Performance and Productivity

Before we proceed further, it is useful to review the current state of information on visibility/visual performance/productivity. Public Works Canada has suggested in its invitation to the symposium that the publication CIE 19/2 serve as a basis for discussion of the visual performance problem. This publication presents a model for the visibility/visual performance relationship. The section on cost-benefit analysis assumes that visual performance is linearly related to overall performance (productivity)[6]. However, the report offers no evidence to show that this is the actual relationship. In fact, a little thought reveals a number of likely ways in which visual performance and productivity can be related.

Consider, for example, a situation where the visual and nonvisual components of a task or job are done in parallel. If performance is measured in terms of speed, then the total time for the task is the longer of the times for the visual and nonvisual components. Walking is an example of this. At high visibilities you walk at whatever speed is comfortable, while at low visibilities you must slow down to avoid bumping into things. Reading for comprehension may be another, more pertinent example.

We get a similar visual performance/productivity relationship if motivation instead of ability determines overall performance. Workers may only exert themselves to produce a "fair" day's work and no more[7]. In fact, productivity may even be subject to contract bargaining[8]. A more benign reason for limiting output arises from the natural desire to finish the task, or some discrete portion of the task, before taking a break. If the increase in the potential visual performance is not sufficient to allow the worker to get to the next natural ending point on the task, there may be no change in output[7].

Performance visuelle et productivité

Avant d'aller plus loin, il serait utile de faire le point sur l'état actuel des connaissances sur les relations entre la visibilité, la performance visuelle et la productivité. Dans son invitation au colloque, Travaux publics Canada a suggéré que le rapport 19/2 de la CIE serve de base aux débats sur le problème de la performance visuelle. Ce rapport présente un modèle de la relation entre la visibilité et la performance visuelle. Dans la partie portant sur l'analyse coût-bénéfice, on suppose qu'il existe une relation linéaire entre la performance visuelle et la performance globale (productivité)[6]. Cependant, rien dans le rapport ne prouve que la relation est bien linéaire. En fait, lorsqu'on approfondit un peu la question, on découvre un certain nombre de relations toutes également possibles entre la performance visuelle et la productivité.

Considérons, par exemple, une situation dans laquelle les éléments visuels et les éléments non visuels d'une tâche, ou d'un travail, sont effectués en parallèle. Si la performance est mesurée en termes de vitesse, le temps total mis pour effectuer le travail est le plus long des temps pris par l'un des éléments visuels ou non visuels. La marche est un bon exemple de ce type de situation. Lorsque la visibilité est bonne, vous marchez à la vitesse qui vous convient alors que, si la visibilité est mauvaise, vous devez ralentir pour éviter de trébucher sur les obstables. Lire dans le but de comprendre peut-être un autre exemple, plus pertinent.

Nous obtenons une relation performance visuelle-productivité semblable si la performance globale dépend de la motivation plutôt que de la capacité. Il est possible que les travailleurs veuillent fournir une production "honnête", sans plus[7]. La productivité peut même être fixée par une convention collective[8]. Une autre raison, plus bénigne, pour limiter la production naît du désir naturel de terminer la tâche, ou quelque étape de la tâche, avant de faire une pause. Si l'accroissement de la performance visuelle potentielle ne suffit pas à amener le travailleur à la prochaine étape naturelle de la tâche, il risque de ne pas y avoir de changement de la production[7].

In all of the above cases there is a level of visual performance above which there are no further increases in productivity. This will tend to be the most cost-effective level. In practice this single visual performance level will translate to a range of visibilities due to the differences in visual sensitivity among individuals.

Now let us assume that the job consists of tasks linked in series. In this case the times for the visual and nonvisual components of the task will add. Let W_t be the fraction of total time it takes to do the visual task as visibility approaches infinity, RTP the relative performance on the visual components of the task, and RP the overall relative performance (productivity). Then RP is:

$$RP = (W_t / RTP + (1-W_t))^{-1} \quad (1)$$

The first order Taylor's expansion of this equation around RTP = 1 is equivalent to the linear model proposed in CIE 19/2[1,4].

The manner in which tasks can combine is more varied when performance is measured in terms of accuracy. For instance, the visual and nonvisual components of a job may be totally separate so that performance on one does not affect performance on the other. If overall performance is just the sum of the performances on the individual tasks, then we get the linear or "dilution" model proposed in CIE 19/2[6]:

$$RP = W_t RTP + (1-W_t) \quad (2)$$

where W_t is now the fraction of time spent on, or value of, the visual tasks.

If instead the nonvisual components of a task contribute directly to final accuracy, then final accuracy will be a product instead of a sum. For instance, the probability of neither the visual nor nonvisual components of a task contributing an error is given by:

$$RP = (P_{nv}^{n1} RTP^{n2}) \quad (3)$$

Dans tous les cas susmentionnés, il y a un niveau de performance visuelle au delà duquel la productivité n'augmente plus. Ce niveau tendra à être le niveau le plus rentable. Dans la pratique, ce niveau unique de performance visuelle se traduit par une gamme de visibilité, en raison des différences individuelles de sensibilité visuelle.

Supposons maintenant que le travail consiste en une série de tâches. Dans ce cas, les temps pris par les éléments visuels et non visuels de la tâche s'additionnent. Soit W_t la fraction du temps total nécessaire pour effectuer les tâches visuelles lorsque la visibilité tend vers l'infini, la performance relative pour les composantes visuelles de la tâche (RTP = Relative Task Performance), et la performance relative (RP = Relative Performance) globale (productivité). RP est alors égale à:

$$RP = (W_t / RTP + (1-W_t))^{-1} \quad (1)$$

Le développement de Taylor du premier ordre de cette équation autour de RTP = 1 est équivalent au modèle linéaire proposé dans le rapport 19/2 de la CIE[1,4].

Les combinaisons possibles de tâches sont plus variées lorsqu'on mesure la performance en termes de précisions. Par exemple, les éléments visuels et non visuels d'un travail peuvent être complètement séparés, de telle sorte que la performance relative à l'un n'influe pas sur la performance relative à l'autre. Si la performance globale est seulement la somme des performances relatives aux tâches individuelles, nous obtenons le modèle linéaire ou de "dilution" proposé dans le rapport 19/2 de la CIE[6]:

$$RP = W_t RTP + (1-W_t) \quad (2)$$

où W_t est maintenant la fraction du temps passé sur les tâches visuelles.

Si, au contraire, les éléments non visuels d'une tâche contribuent directement à la précision finale, cette dernière est alors un produit, et non une somme. Par exemple, la probabilité pour que ni les éléments visuels ni les éléments non visuels soient une source d'erreurs est donnée par:

$$RP = (P_{nv}^{n1} RTP^{n2}) \quad (3)$$

where P_{nv} is the accuracy on the nonvisual components of the task and n_1 and n_2 are the number of nonvisual and visual steps, respectively, needed to complete the task. High values of the n_1 make it very difficult to get high productivity. It therefore seems unlikely that tasks for which this relationship applies are common if the n_1 are high.

A common practice is to introduce redundancy into the task if it is not already naturally present. Redundancy provides multiple chances to correct errors. Some assembly tasks and simple tasks like answering the phone can be performed without any light. For these types of tasks, accuracy is given by the probability that at least one of the (redundant) visual or nonvisual steps is correct:

$$RP = 1 - (1-P_{nv})^{n1} (1-RTP)^{n2} \qquad (4)$$

where the n_1 are now the number of redundant steps involved in the completion of the task. For office tasks which do require vision, redundancy will affect the visual and nonvisual components separately:

$$RP = (1 - (1-P_{nv})^{n1}) (1-(1-RTP)^{n2}) \qquad (5)$$

A high value of n_2 will make these types of relationships very insensitive to variations in visual performance.

This discussion barely serves as an introduction to the number of relationships which are possible and even likely. For instance, we have not analyzed situations where the accuracy on one subtask is dependent on the accuracy of another task. We have not analyzed cases where performance is determined by both speed and accuracy. We have not explored many of the possible influences of motiviation. Finally, we have not analyzed situations where different relationships apply to different parts of the job. Until studies empirically identify the most common relationships, it is only possible to examine "case" studies.

où P_{nv} est la précision des éléments non visuels de la tâche et n_1 et n_2 sont respectivement les nombres d'étapes non visuelles et visuelles nécessaires pour effectuer la tâche. Il est très difficiele d'atteindre une grande productivité lorsque les valeurs des n_1 sont élevées. Il semble donc improbable que des tâches auxquelles cette relation s'applique se rencontrent couramment si les n_1 sont élevés.

Une pratique courante consiste à introduire une redondance dans la tâche si elle n'est pas déjà naturellement présente. La redondance offre de multiples occasions de corriger les erreurs. Certaines réunions et des tâches simples comme répondre au téléphone ne nécessitent aucune lumière. Pour ce type de tâches, la précision est donnée par la probabilité qu'au moins l'une des étapes (redondantes) visuelles ou non visuelles soit correcte:

$$RP = 1 - (1-P_{nv})^{n1} (1-RTP)^{n2} \qquad (4)$$

où les n_1 sont maintenant les nombres d'étapes redontantes intervenant dans la tâche. Pour des tâches de bureau, qui font intervenir la vision, la redondance influera séparément sur les éléments visuels et non visuels:

$$RP = (1 - (1-P_{nv})^{n1}) (1-(1-RTP)^{n2}) \qquad (5)$$

Un n_2 élevé rend ce type de relation très insensible aux variations de performance visuelle.

Cette discussion permet à peine d'entrevoir le nombre de relations possibles et même probables. Par exemple, nous n'avons pas analysé de situations où la précision d'une sous-tâche dépend de la précision d'une autre tâche. Nous n'avons pas analysé les cas où la performance est déterminée à la fois par la vitesse et par la précision. Nous n'avons pas exploré de nombreuses incidences de la motivation. Enfin, nous n'avons pas analysé de situations où différentes relations s'appliquent à différentes parties du travail. Jusqu'à ce que l'on détermine empiriquement les relations les plus courantes, on ne pourra faire que des études de "cas".

The easiest case to calculate is a lower limit on visual performance. We expect that acuity limits (free viewing) for the visual tasks are a lower limit on how low visual performance can drop before there is an effect on productivity. In this case we are defining the acuity limit as 100 per cent probablity of detection or identification, instead of the 50 per cent criterion that is more common. We feel that the former definition is as low a level of performance as is likely to be acceptable.

Le calcul le plus facile est celui d'une limite inférieure de la performance visuelle. Nous pensons que les limites d'acuité (vision libre), pour des tâches visuelles, donnent une limite inférieure de la performance visuelle au-delà de laquelle une diminution de la performance influe sur la productivité. Dans ce cas, nous définissons la limite d'acuité comme une probabilité de détection ou d'identification de 100 pour cent, au lieu de critère plus cosurant de 50 pour cent. Nous pensons que la première définition donne le plus bas niveau de performance susceptible d'être acceptable.

The next-easiest model to evaluate is the simple "dilution" model, which, as we have noted before, is the model suggested in CIE 19/2, and is very similar to the series model (Eq. 1). This model probably overestimates the effect of visual performance on productivity. In particular, note that the parallel processing, the redundancy modified (Eqs. 4 and 5), and the motivationally fixed productivity models all give lower estimates than the dilution model. Furthermore, the motivationally fixed productivity models are essentially the only models for which there is concrete evidence[7,8].

Ensuite, le modèle le plus facile à évaluer est le modèle simple de "dilution" qui, comme nous l'avons déjà mentionné, est celuis que propose le rapport 19/2 de la CIE. Il est presque identique au modèle de la série (Eq. 1). Ce modèle surestime probablement l'incidence de la performance visuelle sur la productivité. Il faut noter, en particulier, que les modèles faisant intervenir le traitement en parallèle, le redondance (Eq. 4 et 5) et la productivité fixée par la motivation donnent tous des estimations inférieures à celles obtenues avec le modèle de dilution. De plus, les modèles dans lesquels la productivité est fixée par la motivation sont presque les seuls pour lesquels on dispose de preuves concrètes[7,8].

The two cases we have listed are useful in that they appear to provide limits to what the real relationships might be. They therefore provide bounds that can be used to evaluate the importance of visual performance.

Les deux cas susmentionnés sont utiles en ce sens qu'ils fixent les limites de la véritable relations. On peut ainsi évaluer l'importance de la performance visuelle à l'intérieur de ce cadre.

Problems in CIE 19/2

Problèmes dans le rapport 19/2 de la CIE

In the discussion of the visual performance/productivity relationships we found that it was important to specify whether productivity was determined by speed, by accuracy, or by a combination of the two. The CIE visual performance model does not distinguish between these different types of performance. A detailed analysis of the problems that this creates has been presented in an earlier paper by the authors[2]. In this paper we briefly present the results of that analysis.

Dans notre discussion au sujet des relations entre la performance visuelle et la productivité, nous avons découvert qu'il était important de spécifier si la productivité était fixée par la vitesse, par la précision, our par une combinaison des deux. Le modèle de performance visuelle de la CIE ne distingue pas entre ces différents types de performance. Les auteurs[2] ont présenté dans un rapport précédent une analyse détaillée des problèmes engendrés par cette démarche. Nous résumerons ici brièvement les résultants de cette analyse.

The CIE 19/2 model uses a weighted sum to describe how the subcomponents of visual performance -- detection, saccadic motion, fixation, and identification -- combine to give visual performance. This is not self-consistent, as different types of performance require different relationships. For example, if performance is measured by speed, then we expect the times for each subcomponent to add to give an overall time, which is the inverse of overall performance (see Equation 1). If instead we are concerned with accuracy, then the weighted sum implies that each visual subprocess is independently responsible for a fraction of the overall accuracy. This interpretation cannot be reconciled with the physical description of the subprocesses. Finally, if performance depends upon both accuracy and speed, then the criterion the subject uses to allocate time to the task enters the visual performance function either as an independent variable or as a constraint. Neither is consistent with the CIE model. Consider, for example, the case where the subject maximizes his performance. This condition makes the subject's allocation of time dependent upon the form of the performance function[2]. This in turn implies that performance and even relative performance depend upon the form of the performance function. This is not consistent with the CIE visual performance model, which assumes complete independence from the form of the performance function.

The fact that the terms of the CIE model cannot be identified with the physical processes in a self-consistent manner indicates that the functional form provides at best an empirical fit to performance data. This means that the free parameters of the model, D, W_{123}, and P_{max}, have no intrinsic physical significance and therefore in general cannot be estimated in advance. This means that the CIE model is not useful for predicting the results of new experiments under different conditions than the old ones.

Le modèle 19/2 de la CIE fait appel à une somme pondérée pour décrire comment les composantes de la performance visuelle - détection, mouvements saccadés, fixation et identification - se combinent pour donner la performance visuelle. Cela n'est pas logique car les différents types de performance imposent différentes relations. Par exemple, si la performance est mesurée par la vitesse, nous nous atendons à ce que les temps pris par chaque composante s'ajoutent pour donner le temps global, ce qui est l'inverse de la performance globale (voir Équation 1). Si, au contraire, nous considérons la précision, la somme pondérée implique alors que chaque sous-processus visuel est indépendemment à l'origine d'une fraction de la précision globale. Cette interprétation n'est pas en accord avec la description physique des sous-processus. Enfin, si la performance dépend à la fois de la précision et de la vitesse, le critère adopté par le sujet pour allouer un temps à la tâche joue un rôle soit de variable indépendante soit de contrainte dans l'équation de la performance visuelle. Aucun cas n'est en accord avec le modèle de la CIE. Considérons, par exemple, le cas où le sujet maximalise sa performance. L'allocation du temps par le sujet dépend alors de la forme de l'équation de performance[2]. Il s'ensuit que la performance et même la performance relative dépendent de la forme de l'équation de performance. Cela contredit le modèle de performance visuelle de la CIE qui suppose une indépendance complète de la forme de l'équation de performance.

L'impossibilité d'associer de façon cohérente les termes du modèle de la CIE aux processus physiques montre que l'équation n'est, au mieux, qu'un lissage empirique des données relatives à la performance. Cela signifie que les paramètres libres du modèle, D, W_{123}, et P_{max}, n'ont aucune signification physique intrinsèque et qu'il est donc en général impossible de les évaluer à l'avance. Par conséquent, on ne peut utiliser le modèle de la CIE pour prévoir les résultats de nouvelles expériences dans des conditions différentes des anciennes conditions expérimentales.

A second problem that arises from the failure of the CIE model to distinguish between different types of performance measures is that it can make it difficult or impossible to relate the CIE estimate of visual performance to productivity. Productivity on the job in general will be a fairly specific combination of speed and accuracy. On the other hand the visual performance-data fit by the CIE model can be any combination of speed and accuracy the experimenter chooses to use. If the performance functions in the laboratory and the field are not the same, then the subject's allocation of time may be different in the two situations. This makes it hard to relate the visual performance data to productivity.

L'incapacité du modèle de la CIE à distinguer entre les différents types de mesure de la performance engendre un deuxième problème, à savoir qu'il est difficile, voire impossible, de relier l'évaluation de la CIE de la performance visuelle à la productivité. La productivité est en général une combinaison assez spécifique de la vitesse et de la précision. Par contre le lissage des données relatives à la performance visuelle, dans le modèle de la CIE, peut représenter n'importe quelle combinaison de la vitesse et de la précision que l'expérimentateur choisit d'utiliser. Si les fonctions de performance au laboratoire et dans les conditions réelles ne sont pas les mêmes, l'allocation du temps par le sujet dans les deux situations peut-être différente. Il devient alors difficile de lier les données relatives à la performance visuelle à la productivité.

The use of arbitrarily chosen performance relationships can distort the visual performance/productivity relationship in other ways, too. For instance, some of the score functions that were used in experiments that were analyzed in CIE 19/2 introduce an arbitrary constant into the fit. The constant is fit by the W_{123} parameter in the CIE model. The introduction of arbitrary change in W_{123} biases the fit, and by extension the estimate of productivity that one would make from the fit.

L'utilisation de relations de performance arbitrairement choisies peut fausser d'autres façons la relation entre la performance visuelle et la productivité. Par exemple, certaines des fonctions utilisées dans des expériences qui ont été analysées dans le rapport 19/2 de la CIE introduisent une constante arbitaire dans le lissage. La constante est fixée par le paramètre W_{123} du modèle de la CIE. Un changement arbitaire dans W_{123} du modèle de la CIE. Un changement arbitaire dans W_{123} introduit un biais dans le lissage et, partant, dans l'estimation de la productivité que l'on ferait à partir du lissage.

The only ways to avoid the above problems are to make sure the performance and productivity measures are similar, or to use a model which explicitly fits the variations in both speed and accuracy.

Les seules façons d'éviter les problèmes susmentionnés consistent à s'assurer que les mesures de performance et de productivité sont similaires, ou à utiliser un modèle qui ajuste explicitement les variations de vitesse et de précision.

In addition to the above modeling problems in CIE 19/2, there are also problems in determining the statistical significance of both the visual performance fits and the parameters of the model itself. Consider first the question of the statistical significance of the visual performance fits.

En plus de ces problèmes de modélisation, dans le rapport 19/2 de la CIE, il y a aussi le problème de la détermination de la signification statistique des lissages de la performance visuelle et des paramètres du modèle lui-même. Considérons d'abord la question de la signification statistique des lissages de la performance visuelle.

One problem in doing any statistical analysis of the visual performance fits is that in half of them no error bars were calculated. Another problem is that most of the fits do not have enough data points to provide very much information on the shape of the visual performance/visibility curve. In one fit there are actually twice as many unknowns as there are data points, giving an underdetermined, not overdetermined, system of equations. In another fit the number of unknowns and data points is equal, and in half of the remaining fits there is only one degree of freedom. Only two of the 20 fits have six or more degrees of freedom.

A related problem with some of the fits is the excessive number of unknowns. The two worst cases have 12 and 13 unknowns respectively. No statistical tests were presented to show that it is signal, not noise, that is being fit while going to such a large number of unknowns.

There is not one visual performance/ visibility fit in CIE 19/2 that is completely free of statistical problems. The statistical significance of the fits is therefore unclear and questionable. In the interests of parsimony, a simpler model should be used until it can be verified that more complicated models actually provide more information.

Statistical problems similar to those above appeared when we examined the fits to the data used to determine the relationships between fixed parameters in the CIE model (e.g. the dependance of m on age, of Y and X on task demand D, of α_3 on X, and so forth). Most of this work is in a set of six support documents. In the first of these documents we found what appears to be another serious statistical problem[9].

L'un des problèmes dans l'analyse statistique des lissages de la performance visuelle est que, pour la moitié d'entre eux, on n'a pas calculé de colonne d'erreur. Un autre problème est que, pour la plupart des lissages, on ne dispose pas d'assez de points pour avoir une idée de la forme de la courbe de la performance visuelle en fonction de la visibilité. En fait, dans l'un des lissages, il y a deux foix plus d'inconnues que de points, ce qui donne un système d'équations sous-déterminé et non surdéterminé. Dans un autre lissage, le nombre d'inconnues et le nombre de points sont égaux et, dans la moitié des lissages restants, il n'y a qu'un degré de liberté. Seulement deux des 20 lissages ont au moins six degrés de liberté.

Un problème du même ordre avec certains des lissages est le nombre excessif d'inconnues. Les deux pires cas ont respectivement 12 et 13 inconnues. On n'a présenté aucun test statistique pour montrer que, avec un si grand nombre d'inconnues, c'est bien le signal et non le bruit qui est lissé.

Dans le rapport 19/2 de la CIE, aucun lissage des données relatives à la performance visuelle en fonction de la visibilité n'est exempt de problèmes statistiques. On peut donc s'interroger sur la signification statistique des lissages. Pour des raisons d'économies, on devrait utiliser un modèle plus simple jusqu'à ce qu'il soit prouvé que des modèles plus complexes fournissent plus d'information.

On s'est heurté à des problèmes statistiques similaires lorsqu'on a examiné les lissages des données utilisées pour établir les relations entre les paramètres fixes du modèle de la CIE (par ex. la relation entre m et l'âge, entre Y et X et le niveau D de la demande de la tâche, entre α_3 et X, etc.). La plus grande partie de ce travail se trouve dans un ensemble de six documents étayant le rapport 19/2. Dans le premier de ces documents, nous avons trouvé ce qui semble être un autre problème statistique sérieux[9].

The error bars in this first paper appear to be larger than is reasonable. The data points that are plotted are corrected probabilities that range from -.25 to +1. The distribution of points with the largest standard deviation, σ, is the one with half of the points = 1 and half = -.25 so that σ = .625. The standard deviation of a measurement of the mean of a distribution, σ_m, is $\sigma/N^{0.5}$ where N is the number of points measured. The data sets consisted of observations on 45-49 subjects so $\sigma_m \leq .09$ ($.625/49^{0.5}$). The plotted error bars (after correction from probable error to σ) range from $\pm$ .05 to $\pm$ .1. It seems unlikely that individual scores would cluster closely at both ends of the maximum range with an average exactly in the middle. We therefore suspect that the error bars have been incorrectly calculated, and we feel that the conclusions drawn from the fits are not well supported. The first support paper proposed a weak linear relationship between Y and α. We suggest that this relationship will have to be reevaluated.

We want to emphasize that our criticisms apply fairly specifically to the mathematical model presented in CIE 19/2. We are not questioning the more robust **trends**, such as the improvement in visual performance with increases in visibility, or the relative importance of contrast, size, disability glare, and task difficulty as compared to luminance in the calculation of visibility. There is also some evidence in the data for saturation of performance at high and low visibilities, and in addition this trend seems inherently reasonable. What we are disputing is the claim that the CIE 19/2 model can be used to accurately predict performance as a function of visibility.

Les colonnes d'erreur dans ce premier document semblent être supérieures à ce qu'il est raisonnable d'attendre. Les données du graphique sont des probabilités corrigées allant de -0,25 à +1. La distribution des points présentant le plus grand écart-type, σ, est celle dont la moitié des points correspond à 1 et l'autre moitié à -0,25, de telle sorte que σ, = 0,625. L'écart-type d'une mesure de la moyenne d'une distribution, σ_m, est $\sigma/N^{0,5}$ où N est le nombre de points mesurés. Les ensembles de données consistent en des observations faites sur 45-49 sujets, de telle sorte que $\sigma_m \leq 0,09$ ($0,625/49^{0,5}$). Les colonnes d'erreur figurant sur le graphique, après correction de l'erreur probable sur σ, varient de $\pm$ 0,05 à $\pm$ 0,1. Il semble improbable que les scores individuels se regroupent aux deux extrémités de la zone maximale avec une moyenne exactement au centre. Nous soupçonnons donc que les colonnes d'erreur ont été calculées incorrectement, et nous pensons que les conclusions tirées de ces lissages ne sont pas bien fondées. Ce premier document proposait une relation linéaire entre Y et α. Nous pensons que cette relation devrait être réévaluée.

Nous voulons insister sur le fait que nos critiques sont assez spécifiques et concernent le modèle mathématique présenté dans le rapport 19/2 de la CIE. Nous ne remettons pas en cause les **tendances** plus robustes comme l'amélioration de la performance visuelle avec l'accroissement de la visibilité, ou l'importance relative du contraste, de la taille, de l'éblouissement perturbateur et de la difficulté de la tâche, comparée à la luminance, dans le calcul de la visibilité. Les données mettent aussi en évidence, dans une certaine mesure, une saturation de la performance à des visibilités faibles et élevées et, de plus, cette tendance semble naturellement raisonnable. Nous contestons que le modèle présenté dans le rapport 19/2 de la CIE puisse être utilisé pour prédire de façon précise la performance en fonction de la visibilité.

The Consensus Approach to Lighting Level Recommendations

There are two options available to Public Works Canada at this time. One can use only the information that seems very robust in CIE 19/2, or one can seek an alternative approach. An alternative that has been used very recently is the consensus approach adopted in the RQQ No. 6 illumination selection recommendations[10].

Unfortunately, this approach is not without shortcomings. The consensus approach tends to lead to confirmation of past practice. The designers and engineers who are active now learned their trade under the old IES recommendations. The new RQQ No. 6 recommendations differ from the previous ones in that there is less emphasis on CRF and in that they provide illumination levels a factor of two lower if age, reflectance, or the relative unimportance of accuracy or speed on the task justifies it. These differences are not very significant.

As we showed earlier, the previous IES recommendation did not explicitly consider cost-effectiveness. The RQQ No. 6 recommendations still do not consider costs at all, and they appear to badly underestimate the importance of CRF, age, reflectance, and the significance of the need for speed or accuracy. Finally, the actual illumination ranges appear to be essentially arbitrary in terms of their being cost-effective.

The RQQ No. 6 recommendations attempt to reach a consensus of what constitutes "good practice" without providing any guidelines as to what is meant by it. The concept of cost-effectiveness has been treated only superficially in IES publications, and in fact was not really important until 1972. It is not possible to get an informed consensus on what constitutes cost-effective lighting until there has been much more experience with the concept.

Le consensus dans l'élaboration de recommandations en matière de niveau d'éclairement

À l'heure actuelle, deux voies s'offrent à Travaux publics Canada. On peut soit utiliser seulement l'information qui apparaît solidement étayée dans le rapport 19/2 de la CIE soit chercher une autre approche. Une approche utilisée très récemment est celle du consensus; elle a été adoptée dans les recommandations[10] du RQQ nº 6 en matière d'éclairement.

Malheureusement, cette approche n'est pas exempte d'inconvénients. La méthode du consensus tend à entériner les pratiques passées. Les concepteurs et les ingénieurs actuellement en activité ont été formés dans le cadre des anciennes recommandations de l'IES. Les nouvelles recommandations du RQQ nº 6 diffèrent des précédentes en ce sens que l'on donne moins d'importance au CRF et que l'on diminue les niveaux d'éclairement par un facteur de deux si cela est justifié par l'âge, le facteur de réflexion, ou l'absence relative d'importance de la précision ou de la vitesse. Ces différences ne sont pas très grandes.

Comme nous l'avons montré plus tôt, les recommandations précédentes de l'IES ne tenaient pas compte explictement de la rentabilité. Les recommandations du RQQ nº 6 ne tiennent toujours pas du tout compte des coûts, et elles semblent sous-estimer gravement l'importance du CRF, de l'âge et du facteur de réflexion; elles semblent aussi ne pas tenir compte de la signification du besoin de vitesse ou de précision. Enfin, les gammes réelles d'éclairement semblent être essentiellement arbitraires, en ce qui concerne leur rentabilité.

Les recommandations du RQQ nº 6 tentent d'atteindre un consensus, en ce qui concerne une "bonne pratique", sans préciser ce que cela signifie. Le concept de rentabilité a été traité seulement superficiellement dans les publications de l'IES et, en fait, il n'a pas eu réellement d'importance jusqu'à 1972. Il est impossible d'arriver à un consensus éclairé sur ce que constitue un éclairage rentable avant d'avoir travaillé avec le concept.

Ideally, it would be best to determine cost-effectiveness directly from the effect of visibility on productivity. In practice it has been hard to even establish a lower limit on visibility this way because of the extreme difficulty in controlling external variables and in measuring the small but potentially significant changes in performance that are related to visibility alone[1,7]. We feel that presently the best that can be done is to estimate upper and lower bounds from the "dilution" model and the acuity limit respectively, as we mentioned earlier. We propose to use whatever information that does appear robust from CIE 19/2 in these estimates.

Idéalement, le mieux serait de déterminer directement la rentabilité à partir de l'incidence de la visibilité sur la productivité. En pratique, on a déjà éprouvé des difficultés pour établir de cette façon une limite inférieure de la visibilité. Il est en effet très difficile de maîtriser les variables extérieures et de mesurer les variations de performance, faibles mais potentiellement non négligeables, liées à la seule visibilité[1,7]. Nous pensons que, à l'heure actuelle, le mieux que l'on puisse faire est d'estimer les limites supérieure et inférieure, à partir respectivement du modèle de "dilution" et de la limite d'acuité, comme nous l'avons mentionné précédemment. Nous proposons d'utiliser, pour ces estimés, tous les renseignements du rapport 19/2 de la CIE qui apparaissent solidement fondés.

A Lower Limit for Light Level Requirements for Office Tasks

To calculate the lower visual performance or visibility limit we use Kaneko's fit of Ito's acuity data[11], and Henderson's measurements of the equivalent contrasts (C_{eq}'s) of a number of office tasks[12,13]. Kaneko fit acuity (A in minutes^{-1}), to contrast (C) and luminance (L in cd/m^2):

$$A = .7284\, L^{.2131} C^{.53158} \qquad (6)$$

The equivalent contrast is defined as the contrast of a four-minute disk with the same visibility as the actual target when viewed under the same light level in matched 1/5-second pulses. We assume that to first order the visibility match would be the same for binocular free viewing. Equation 6 can then be rewritten in terms of the equivalent contrast of the four-minute disk to give:

$$L = .00661\, C_{eq}^{2.41} \qquad (7)$$

Limite inférieure du niveau d'éclairement pour les tâches de bureau

Pour calculer la limite inférieure de la performance visuelle ou de la visibilité, nous utilisons le lissage de Kaneko des données de Ito relatives à l'acuité[11], et les mesures de Henderson des contrastes équivalents (C_{eq}) d'un certain nombre de tâches de bureau[12,13]. Kaneko lie l'acuité (A en minutes^{-1}) au contraste (C) et à la luminance (L en cd/m^2):

$$A = 0{,}7284\, L^{0{,}2131} C^{0{,}53158} \qquad (6)$$

Le contraste équivalent est défini comme étant le contraste d'un disque de quatre minutes, ayant la même visibilité que la cible réelle lorsqu'il est vu sous le même niveau d'éclairement, à cadence d'observation de 1/5 seconde. On suppose en première approximation que la correspondance de visibilité serait la même pour une vision libre binoculaire. Si l'on réécrit l'équation 6 en termes du contraste équivalent d'un disque de quatre minutes, on obtient:

$$L = 0{,}00661\, C_{eq}^{2{,}41} \qquad (7)$$

The measured range of C_{eq} for office environments was from .2 to 2. Inserted into Equation 7 these values yield a lower limit on luminance of .001 to .3 cd/m^2. The lower figure is substantially below the range of applicability of Equation 6 and is probably incorrect.

Les valeurs mesurées de C_{eq} varient de 0,2 à 2 pour une ambiance de bureau. Lorsqu'on porte ces valeurs dans l'équation 7, on obtient une limite inférieure de la luminance variant entre 0,001 et 0,3 cd/m^2. La valeur la plus basse est substantiellement inférieure au domaine d'applicabilité de l'équation 6 et elle est probablement incorrecte.

Equation 6 was derived from the average results of young subjects' being able to just detect a gap in a Landolt ring. Blackwell has shown that the criteria for detectability under free viewing conditions yields a visibility level that allows close to 100 per cent success under forced choice conditions[14]. However, the use of the average results for young subjects in our calculation is clearly restrictive in that it excludes the bulk of the working population. Estimates in CIE 19/2 set the decrease in contrast sensitivity in going from 20 to 65 years of age as about a factor of 2 and give a further factor of $\sqrt{2^{0.5}}$ decrease for each 1 standard deviation from the mean. Inserting these factors into Equation 7 yields an upper limit of 1.5 cd/m^2 for the average, normally sighted individual at 65, and upper limits of 3.5, 8.5 and 19 cd/m^2, respectively, for 1, 2, and 3 standard deviations from the mean at 65. The last value provides a healthy safety margin for most tasks for most people. However, it still may be insufficient for people who need eyeglass corrections, or who have eye diseases, or who have some forms of visual handicaps. These latter cases are recognizably special, and should be dealt with accordingly.

L'équation 6 est dérivée des résultats moyens obtenus avec des sujets jeunes juste capables de détecter la brisure dans un anneau de Landolt. Blackwell a montré que le critère de détectabilité dans des conditions de vision libre donne un niveau de visibilité permettant près de 100 pour cent de succès dans des conditions de choix forcé[14]. Cependant, l'utilisation dans nos calculs des résultats moyens obtenus avec de jeunes sujets est nettement restrictive en ce sens qu'elle exclut la plus grande partie des travailleurs. Les estimations du rapport 19/2 de la CIE fixent la diminution de la sensibilité différentielle, lorsqu'on passe de 20 ans à 65 ans, à un facteur d'environ 2 et elles ajoutent un autre facteur de $\sqrt{2^{0,5}}$ pour chaque écart-type de 1 par rapport à la moyenne. Lorsqu'on introduit ces facteurs dans l'équation 7, on obtient une limite supérieure de 1,5 cd/m^2 pour un individu moyen de 65 ans, ayant une vue normale, et des limites supérieures de 3,5, 8,5 et 19 cd/m^2, respectivement, pour des écarts-types de 1, 2, et 3, avec des sujets de 65 ans. La dernière valeur donne une bonne marge de sécurité pour la santé dans la plupart des tâches, avec la plupart des travailleurs. Cependant, elle peut encore être insuffisante pour des personnes ayant besoin de changer de verres correcteurs ou souffrant d'une maladie de l'oeil ou de quelque forme de handicap visuel. Ces derniers cas sont évidemment spéciaux et doivent être traités individuellement.

A luminance of 19 cd/m^2 can be provided by 150 lux when reflectances are 40 per cent or greater. If this value seems startingly low, it may help to note that 1) it is a lower limit, 2) we have not included the effects of poor contrast renderings or disability glare, and 3) the tasks were restricted to office tasks, not general industrial tasks.

On peut obtenir une luminance de 19 cd/m^2 avec 150 lux, lorsque le facteur de réflexion est de 40 pour cent ou plus. Cette valeur peut sembler étonnamment faible, mais il faut noter que 1) il s'agit d'une limite inférieure, 2) nous n'avons pas inclus les effets d'un mauvais rendu des contrastes ou de l'éblouissement perturbateur, et 3) il s'agit seulement de tâche de bureau et non de tâches industrielles en général.

From Equation 7 we see that a reduction by a factor of r in contrast requires an increase by a factor of $r^{2.41}$ in luminance to maintain visibility. Thus, we can trade a 10 per cent reduction in contrast for a 25 per cent increase in luminance, or a factor of 2 reduction in contrast with a factor of 5 increase in luminance, and so on. Experiences with installations which have poor contrast rendering or problems with disability glare may give one the mistaken impression that very high light levels are necessary to even see certain office visual tasks. These contrast factors both depend upon lighting design. A cost-effective design has to be optimized over these factors. Conceivably, this could result in a lower limit of 200-250 lux, but it is hard to see how the level could be much higher in a design that is still cost-effective.

D'après l'équation 7, nous voyons que, pour maintenir la visibilité, une réduction du contraste par un facteur r implique une augmentation de la luminance par un facteur $r^{2,41}$. Nous pouvons donc échanger une réduction du contraste de 10 pour cent avec une augmentation de luminance de 25 pour cent, ou une réduction du contraste par un facteur de 2 avec une augmentation de luminance par un facteur de 5, etc. Des expériences relatives à des installations ne permettant pas un bon rendu des contrastes ou présentant des problèmes d'éblouissement perturbateur peuvent donner l'impression trompeuse que les niveaux d'éclairement doivent être très élevés pour que l'on puisse seulement voir certains tâches visuelles. Ces facteurs de contraste dépendent tous les deux de la conception de l'éclairage. Une conception rentable doit être optimisée par rapport à ces facteurs. Il est convenable que l'on arrive ainsi à une limite inférieure de 200-250 lux, mais il est difficile d'imaginer un niveau beaucoup plus élevé avec une conception encore rentable.

Experience with industrial tasks may also lead to the impression of a need for high levels that is based on conditions that are not relevant to office lighting. If, for instance, a job is done on an assembly line at a fixed speed, then our assumption that free viewing is nonlimiting may be grossly wrong. In addition, some industrial tasks may have lower C_{eq}'s than the office tasks measured by Henderson. These factors do not reflect upon the illuminance needs in offices.

L'expérience avec des tâches industrielles peut aussi nous inciter à conclure que des niveaux élevés d'éclairement sont nécessaires, mais cette conclusion est basée sur des conditions qui ne s'appliquent pas à l'éclairage de bureau. Dans le cas par exemple d'un travail effectué sur une chaîne de montage à une vitesse constante, notre hypothèse que la vision libre n'est pas limitative peut se révéler grossièrement incorrecte. De plus, certaines tâches industrielles peuvent avoir des C_{eq} inférieurs à ceux des tâches de bureau mesurés par Henderson. Ces facteurs ne tiennent pas compte des besoins en éclairement dans les bureaux.

Note that even for very low C_{eq}'s the most cost-effective solution is not always more light. Magnification, for example, may be the only way to see a very small task detail, and, if speed is not the limiting constraint on performance, may even be advantageous for bigger, more visible tasks. From Equation 6 it can be shown that at moderate luminances a factor of 2 magnification is almost equivalent to a factor of 5 increase in light level. To provide truly cost-effective designs, the illuminating engineer must be willing to advise the client on visibility, not just lighting.

Il faut noter que, même pour des C_{eq} très bas, la solution la plus rentable ne consiste pas toujours en une augmentation de l'éclairement. Le grossissement, par exemple, peut être la seule façon de voir un minuscule détail de la tâche et, si la performance n'est pas limitée par la vitesse, le grossissement peut même se révéler avantageux pour des tâches plus grosses et plus visibles. L'équation 6 montre que, pour des luminances moyennes, un grossissement par un facteur de 2 équivaut presque à un accroissement par un facteur de 5 du niveau d'éclairement. L'éclairagiste qui veut offrir des conceptions vraiement efficaces doit accepter d'informer le client sur la visibilité, pas seulement sur l'éclairement.

An Upper Limit Estimate for Cost-Effective Lighting in Offices

To obtain an upper limit estimate of how productivity varies with lighting, we use a simplified version of the CIE 19/2 model[1]. Specifically, we use the reference contrast sensitivity function to calculate VL, and relative visual performance (RVP) to VL by the empirical relation:

$$RVP = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{Z} e^{-(z^2/2)} dz \qquad (8a)$$

$$Z = (\log_{10}(VL) - \alpha) / \sigma \qquad (8b)$$

where α and σ are empirically determined parameters. The relative visual performance is then "diluted" (e.g. Equation 2) to give RTP, which in turn is "diluted" to give productivity, P:

$$P = P_V \times RVP + (P - P_V) \qquad (9)$$

where P_V is the value of the visual work times the dilution constant from RVP to RTP.

Our expression for RTP preserves the basic trends in CIE 19/2 and in many earlier works. It also has a form similar to that of the CIE expression at moderate to high visibilities. The range of values of α and σ that fit the data in the CIE model should therefore be a reasonable guide to the range of the corresponding variables in Equation 8b. The advantage of this RTP expression over the form given in CIE 19/2 is that it does not include the complex detail that is not justified on theoretical grounds and that is of dubious usefulness on practical grounds. We are not claiming theoretical validity for our expression; in fact, it is clearly incorrect at low visibilities since it does not tend towards zero.

Estimation de la limite supérieure pour un éclairage rentable dans les bureaux

Pour obtenir une estimation de la limite supérieure de la variation de la productivité en fonction de l'éclairement, nous utilisons une version simplifiée du modèle 19/2 de la CIE[1]. Nous utilisons en particulier la fonction de sensibilité différentielle de référence pour calculer VL (niveau de visibilité) et nous lions la performance visuelle relative (RVP = Relative Visual Performance) à VL par la relation empirique:

$$RVP = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{Z} e^{-(z^2/2)} dz \qquad (8a)$$

$$Z = (\log_{10}(VL) - \alpha) / \sigma \qquad (8b)$$

où α et σ sont des paramètres déterminés empiriquement. La performance visuelle relative est ensuite "diluée" (par ex. Équation 2) pour donner RTP, qui est à son tour dilué pour donner la productivité, P:

$$P = P_V \times RVP + (P - P_V) \qquad (9)$$

où P_V est la valeur du travail visuel multipliée par la constante de dilution de RVP à RTP.

Notre expression de RTP est en accord avec les principales tendances présentées dans le rapport 19/2 de la CIE et dans de nombreux autres travaux. Elle a aussi une forme similaire à celle de la CIE pour des visibilités moyennes et élevées. La gamme de valeurs de α et σ qui conviennent pour les données du modèle de la CIE doit donc permettre de définir raisonnablement le domaine des variables correspondantes dans l'équation 8b. L'avantage de cette expression de RTP sur la formule du rapport 19/2 est que l'expression de RTP exclut les détails complexes injustifiées du point de vue théorique et d'une utilité douteuse du point de vue pratique. Nous ne revendiquons pas la validité théorique de notre expression; en fait, elle est nettement incorrecte aux basses visibilités puisqu'elle ne tend pas vers zéro.

The idea behind Equations 8 through 9 is to provide a rough guide to how visibility affects productivity, and to what variables are important. To calculate net benefits we go one step further and include estimates of costs. We use a simple linear model for costs, B:[15]

$$B = (.02 \times a_1 + .036 \times a_2 + 10^{-5} \times n \times a_3) \times W \quad (10)$$

Here .02 and .036 are base case values for maintenance and annualized fixture costs, a_1 and a_2 are multipliers so that we can examine the sensitivity of the net benefit to changes in these costs, 10^{-5} is a constant, n is the number of hours lights are on, a_3 is the cost of electricity in ¢/kwh, and W is the installed wattage.

A computer program was written to evaluate the net benefit (Equation 9 minus Equation 10) as a function of the installed watts/m^2 and the cost of electricity. To compute VL from W we used the relation:

$$VL = C_4 \times b_1 \left((b_2/W \times E_e \times \rho)^{.4} + 1\right)^{-2.5} \quad (11)$$

Here C_4 is the product of the contrast factors; C_{eq}, disability glare factor (DGF), contrast rendition factor (CRF), and the age correction to contrast sensitivity ($1/m_1$). The b_i are derived from the RCS constants, and E_e and ρ are the delivered lumens/watt (efficacy times coefficient of utilization times the maintenance factor) and the reflectivity, respectively. We also evaluated net benefits for task lighting. We assumed that E_e for task lighting was one-half that of general lighting and we varied the costs, the ratio between task and general light levels, and the area lit by the task lamp.

Le but des équations 8 et 9 est de montrer grossièrement comment la visibilité influe sur la productivité et quelles sont les variables importantes. Pour calculer des bénéfices nets, nous franchissons un pas de plus et nous incluons les estimations de coût. Pour cela, nous utilisons un modèle simple linéaire, B[15]:

$$B = (0{,}02 \times a_1 + 0{,}036 \times a_2 + 10^{-5} \times n \times a_3) \times W \quad (10)$$

Dans cette équation, 0,02 et 0,036 sont les valeurs de cas de base pour l'entretien et les coûts annualisés des luminaires, a_1 et a_2 sont des multiplicateurs nous permettant d'examiner la sensibilité du bénéfice net aux variations de ces coûts, 10^{-5} est une constante, n est le nombre d'heures pendant lesquelles les lumières sont allumées, a_3 est le coût de l'électricité en ç/kwh, et W est la puissance installée.

Un programme a été écrit pour l'évaluation du bénéfice net (Équation 9 moins Équation 10) en fonction de la puissance/m^2 installée et du coût de l'électricité. Pour calculer VL à partir de W, nous utilisons la relations:

$$VL = C_4 \times b_1 \left((b_2/W \times E_e \times \rho)^{0,4} + 1\right)^{-2,5} \quad (11)$$

Ici C_4 est le produit des facteurs de contraste; C_{eq}, le facteur d'éblouissement perturbateur (DGF = Disability Glare Factor), le facteur de rendu des contrastes (CRF = Contrast Rendering Factor), et la correction en fonction de l'âge apportée à la sensibilité différentielle ($1/m_1$). Les b_i sont dérivés des constantes RCS (sensibilité différentielle relative), et E_e et ρ sont respectivement l'efficacité lumineuse fournie (efficacité x coefficient d'utilisation x facteur d'entretien) et la réflectivité. Nous avons aussi évalué les bénéfices nets pour l'éclairage de la tâche. Nous avons supposé que, pour l'éclairage de la tâche, E_e était égale à la moitié de sa valeur pour l'éclairage ambiant, et nous avons varié les coûts, le rapport des niveaux d'éclairement ambiant sur ceux de la tâche et la superficie éclairée par la lampe servant à l'éclairage de la tâche.

In our preliminary evaluations of the computer runs, we were primarily interested in the determination of optimum light levels, or, alternatively, power densities. In rough order the most important variables affecting lighting levels were P_V, the degree of task lighting (area and light level ratios), the task visibility and difficulty variables (C_4 and α), the cost of electricity, the area per employee, E_e, and finally ρ. A short summary of the sensitivity of the optimal light level to these variables is presented in Table 1. Note that options such as daylighting and lighting controls have not been evaluated and therefore are not listed in the table. This does not mean that they are unimportant! Note further that our rough-order ranking might change if the possible range of the independent variable is substantially different from the range we examined.

The variable P_V is essentially a measure of the importance of speed and/or accuracy. It is the product of three factors, all of which are quite variable. The three factors are the total value of the employee's work, the fraction of the work devoted to visual tasks, and, finally, the dilution constant from RVP to RTP. The variability in the office work should be reflected in the salary range. In private industry this range can be enormous; for governmental employees the range is probably closer to 4:1 or slightly more. The second factor should be more variable. Intuitively, it looks as if there could be a 10:1 difference in the fraction of time spent on visual tasks between people-oriented jobs - sales, reception, and management - and clerical or keypunch jobs. The third factor is sometimes related to the variable W_{123} in CIE 19/2[2,4]. There is over a 10:1 range in this variable. There may be an even larger variation in this variable in field rather than laboratory situations because of the wider range of motivation that should be found in the field.

Dans nos premières évaluations des essais sur ordinateur, nous nous sommes d'abord intéressés à la détermination des niveaux d'éclairement optimums ou bien à la puissance par mètre carré. Les variables les plus importantes influant sur les niveaux d'éclairement se classent approximativement ainsi: P_V, le degré d'éclairement de la tâche (rapports entre la superficie et le niveau d'éclairement), la visibilité de la tâche et les paramètres de difficulté (C_4, et α), le coût de l'électricité, la superficie par employé, E_e, et finalement ρ. Le tableau 1 résume brièvement la sensibilité du niveau d'éclairement optimum à ces variables. Il faut noter que des possibilités comme l'éclairage naturel et les réglages de l'éclairage n'ont pas été évaluées et qu'elles ne figurent donc pas dans ce tableau. Cela ne signifie pas qu'elles sont sans importance! Il faut aussi noter que notre classement approximatif peut changer si les domaines possibles des variables independantes sont nettement différents des domaines que nous avons étudiés.

La variable P_V est essentiellement une mesure de l'importance de la vitesse ou de la précision, ou des deux. C'est le produit de trois facteurs, tous assez variables. Les trois facteurs sont la valeur totale du travail de l'employé, la fraction du travail correspondant aux tâches visuelles et, enfin, la constante de dilution de RVP à RTP. La variabilité du travail de bureau devrait se refléter dans l'échelle salariale. Pour l'industrie privée, les différences de salaire peuvent être énormes; pour les fonctionnaires, le rapport entre les salaires extrêmes est probablement plus près de 4:1, ou légèrement plus. Le deuxième facteur devrait être plus variable. Intuitivement, il semble qu'il puisse y avoir une différence de 10:1 dans la fraction de temps allouée à des tâches visuelles entre les personnes travaillant avec le public (ventes, réception, gestion) et les personnes employées aux écritures ou à la perforation. Le troisième facteur est quelquefois lié à la variable W_{123} du rapport 19/2 de la CIE[2,4]. Pour cette variable, l'échelle va de 10 à 1. Si l'on passe des conditions de laboratoire aux conditions réelles, la variation peut même être encore plus grande en raison de la gamme plus étendue de motivation que l'on peut trouver en situation réelle.

The potential range of P_V from these arguments is around 3-4 log units. The actual range will depend on whether the factors are correlated and will be smaller.

Ces arguments donnent un gamme potentielle des valeurs de P_V variant autour de 3-4 unités logarithmiques. La gamme réelle dépendra de l'existence d'une corrélation entre les facteurs et elle sera plus petite.

There may also be questions about the degree of task lighting listed in Table 1. Basically we assumed that the area on a table or desk in which a person actually does his more difficult visual work can be very small. In addition, we have assumed that by controlling the field of view via privacy panels or walls, it should be possible to attain high light level ratios without degradation of the contrast factors DGF and CRF. Although small variations in these factors do not affect the optimal light level, they do affect the overall net benefit level and therefore the desirability of using task lighting in the first place. There may also be equipment availability or discomfort problems at very high light levels that reduce the degree of task lighting that is practical. We suspect that the degree of task lighting could easily be .6 log units more or less than what we evaluated.

On peut aussi s'interroger sur le degré d'éclairement de la tâche apparaissant au tableau 1. En bref, nous avons supposé que la superficie de la table ou du bureau sur lequel une personne effectue en fait son travail visuel le plus difficile peut être très petite. De plus, nous avons supposé qu'en limitant le champ de vision par des paravents et des murs, il serait possible d'atteindre des rapports élevés de niveau d'éclairement sans diminution des facteurs de contraste DGF et CRF. Bien que de petites variations de ces facteurs n'influent pas sur le niveau d'éclairement optimal, elles ont une incidence sur le bénéfice net global, donc sur la désirabilité de commencer par un éclairage local. Il se peut aussi que, pour de hauts niveaux d'éclairement, on éprouve des problèmes de disponibilité d'équipement ou d'inconfort qui réduiront le degré d'éclairement de la tâche qu'il est possible d'atteindre. Nous pensons qu'il peut facilement y avoir une différence de 0,6 unité logarithmique, en plus ou en moins, entre le degré réel d'éclairement de la tâche et notre évaluation.

The contrast factors C_4 and α are fairly well understood. In our discussion of acuity we quoted values of 1 log unit variation for C_{eq}, a .3 log unit variation from m_1, and possibly a .3 log unit variation from DGF and CRF for a total range of 1.6. The variable α is already a log value and, from CIE 19/2, should vary by about .4. The sum of C_4 and α is thus about 2 log units. The range we evaluated was biased towards the more difficult tasks. For these tasks it will generally not be cost-effective to have poor values of DGF and CRF, so the expected overall variability should be slightly smaller. At high values of P_V the range of C_4 and α should substantially increase their potential effect. We argue later that our choices of P_V were too high, so that our estimate of the importance of the contrast factors should be less of an underestimate than it appears.

Les facteurs de contraste C_4 et α sont assez bien compris. Dans notre discussion au sujet de l'acuité, nous avons donné les valeurs logarithmiques suivantes des variations: 1 pour C_{eq}, 0,3 à partir de m_1 et, peut être 0,3 à partir de DGF et CRF, soit une variation totale de 1,6. La variable α est déjà une valeur logarithmique et, d'après le rapport 19/2 de la CIE, elle devrait varier d'environ 0,4. La somme de C_4 et α est donc d'environ 2, en unités logarithmiques. La zone que nous avons évaluée était biaisée en faveur des tâches plus difficiles. Pour ces tâches, il ne sera généralement pas rentable d'avoir de faibles valeurs de DGF et CRF, et la variabilité globale prévue devrait donc être légèrement plus faible. Pour des valeurs élevées de P_V, les valeurs de C_4 et α devraient avoir un effet nettement plus grand. Plus loin, nous disons que nous avons choisi pour P_V des valeurs trops élevées, de telle sorte que, dans notre évaluation, nous avons moins sous-estimé l'importance des facteurs de contraste qu'il ne paraît de prime abord.

The remaining variables in Table 1 are fairly self-explanatory. Note, however, that we have used a positive log factor to indicate an increased optimal light level with increases in P_V, task lighting, and E_e and decreases in $C_{eq} + \alpha$, ¢/kwh, area, and reflectivity.

It is interesting to compare the variations in Table 1 with those given in RQQ No. 6. In RQQ No. 6 the factor for the importance of speed and accuracy (P_V in Table 1) only changes the recommended light levels by .2 log units. Task lighting is assumed for all lighting above 200 lux, and is therefore not a source of variability in the optimal light level. Note, however, that the degree of task lighting is not evaluated. RQQ No. 6 treats the contrast factors separately. The parameters CRF and DGF are assumed to be high for any task requiring more than 200 lux and are therefore a negligible source of variability in the recommended light levels. The parameter α is not discussed. The parameter C_{eq}, either as used explicitly in Figure 2.3 or via its correlation to the task categories in Figure 2.2, is the dominant factor in determining light levels in RQQ No. 6. A .7 log unit decrease in C_{eq} gives a 2 log unit increase in the recommended illuminance. By comparison, the age effect, which can decrease the overall contrast fact (C_4) by .3, only increases the recommended light level by .2 log units. The cost factors, ¢/kwh, area per employee, and delivered lumens per watt, are not explicitly considered in the RQQ No. 6 recommendations. Finally, a .4 log unit change in reflectivity gives a .2 log unit change in light level. This last recommendation is the only one that is consistent with the values in Table 1.

Les autres variables du tableau 1 s'expliquent assez bien d'elles-mêmes. Il faut noter cependant que nous avons utilisé en facteur logarithmique positif pour indiquer que le niveau d'éclairement optimal est plus élevé lorsque l'on a augmentation de P_V, de l'éclairement de la tâche et de E_e et diminution de $C_{eq} + \alpha$, de ¢/kwh, de la superficie et de la réflectivité.

Il est intéressant de comparer les variations présentées dans le tableau 1 avec celles données dans les recommandations du RQQ n° 6. Dans ces dernières, le facteur associé à la vitesse et à la précision (P_V dans le tableau 1) modifie les niveaux d'éclairement recommandés de seulement 0,2 unité logarithmiques. On suppose un éclairement de la tâche supérieur à 200 lux, pour tous les éclairages. L'éclairement de la tâche n'est donc pas une source de variabilité pour le niveau d'éclairement optimal. Il est à noter cependant que le degré d'éclairage local n'est pas évalué. Les recommandations du RQQ n° 6 traitent séparément les facteurs de contraste. Les paramètres CRF et DGF sont supposés élevés pour toute tâche demandant plus de 200 lux et ils constituent donc une source négligeable de variabilité pour les niveaux d'éclairement recommandés. Le paramètre α n'est pas discuté. Le paramètre C_{eq}, lorsqu'il est utilisé, soit explicitement dans la figure 2.3, soit par l'intermédiaire de sa corrélation avec les catégories de tâches dans la figure 2.2, est le principal facteur dans la détermination des niveaux d'éclairement recommandés. Toujours en termes d'unités logarithmiques, une diminution de C_{eq} de 0,7 unité donne une augmentation de la luminance recommandée de 2 unités. En comparaison, l'effet de l'âge, qui peut faire baisser le facteur de contraste global (C_4) de 0,3 unités, augmente le niveau lumineux recommandé de seulement 0,2 unité. Les facteurs coût, ¢/kwh, la superficie par employé et l'efficacité lumineuse fournie ne sont pas considérés explicitement dans les recommandations du RQQ n° 6. Enfin, une variation de la réflectivité de 0,4 unité donne une variation du niveau d'éclairement de 0,2 unités. Cette dernière recommandation est la seule qui soit en accord avec les valeurs du tableau 1.

The major problem with the RQQ No. 6 recommendations is that they underestimate the importance of the value placed on speed and/or accuracy. This factor determines the whole balance between the expected benefits from lighting and its costs. This balance sharply limits the importance of the other variables.

Le principal problème, avec les recommandations RQQ, n° 6 est que celles-ci sous-estiment l'importance de la vitesse et de la précision. Ce facteur détermine tout l'équilibre entre les bénéfices prévus associés à l'éclairage et les coûts. Cet équilibre limite considérablement l'importance des autres variables.

Some of the results in Table 1 may seem counterintuitive, but are quite reasonable when viewed in the context of cost-effectiveness. For example, the drop in optimal light levels at low values of the contrast factor occurs because increased light levels do not improve performance much when the intrinsic visibility is poor. When the task is moderately difficult, increasing the light level produces large changes in productivity, and, therefore, high light levels become worthwhile. Finally, for easy tasks the performance saturates at low light levels, and once again the increases in performance at high light levels are no longer worthwhile.

Certains des résultats du tableau 1 peuvent paraître surprenants, mais ils sont assez raisonnables si on les considère du point de vue de la rentabilité. Par exemple, la baisse des niveaux d'éclairement optimums enregistrée lorsque le facteur de contraste est faible s'explique par le fait qu'une augmentation des niveaux d'éclairement n'améliore pas beaucoup la performance lorsque la visibilité intrinsèque est mauvaise. Lorsque la tâche est modérément difficile, une augmentation du niveau d'éclairement entraîne de grandes variations dans la productivité et des niveaux d'éclairement élevés deviennent alors rentables. Enfin, pour des tâches faciles, il y a saturation de la performance à de bas niveaux d'éclairement et, une fois encore, les gains de performance à des niveaux élevés ne sont plus rentables.

In Table 2 we list the cost-effective light and power density levels for a base case lighting problem. This example shows how important P_V is in determining the optimal levels. It also shows how relatively unimportant the contrast factors are in determining these levels. However, this type of presentation hides the fact that the contrast factors are critical in achieving cost-effective lighting.

Dans le tableau 2, nous présentons des niveaux d'éclairement rentables et des niveaux de puissance par mètre carré correspondant un cas fondamental d'éclairage. Cet exemple montre l'importance de P_V dans la détermination des niveaux optimums. Il montre aussi à quel point les facteurs de contraste sont relativement peu importants. Néanmoins, ce genre de présentation masque le fait que les facteurs de contraste jouent un rôle déterminant dans l'obtention d'un éclairage rentable.

In Table 3 we list calculated net benefits at several luminance and contrast factor levels. The results should be staggering. A change of the contrast factor by .4 log units is essentially equal to the difference between a normal young adult and a 65-year-old adult whose vision is less than 1 standard deviation below normal. The difference between a Xerox copy and a fourth carbon copy is .5 log units or greater[12]. Clearly, if P_V = $32,000 it would make sense to have a minimum requirement on visual sensitivity as a condition of employment, and fourth carbons would simply not exist.

We feel that this result shows that such large values of P_V either do not occur in office tasks, or they only occur for very visible tasks. Even with more moderate values of P_V, such as P_V = $4000, this effect results in differences of several hundred to a few thousand dollars. These differences are still large enough to be noticeable. We suspect that few tasks have values of P_V even as high as $4000. If such tasks do exist, we strongly recommend that the task be simplified as much as possible, and that the employees at the very least have their vision tested frequently.

Conclusions

We feel that in general the results we are getting indicate that optimal power densities for cost-effective visual performance are in the range of 10 watts/m^2 or less. At this level the ambient lighting can be at about 150 lux. From our earlier arguments about acuity, this light level should be sufficient for employees to perform difficult tasks away from the work station if necessary, although not necessarily efficiently. At the work station light levels of 1500 lux should provide cost-effective lighting even if P_V is as high as a few thousand dollars. In addition, if the task lighting is provided by a local fixture, then higher light levels can be obtained if necessary, by bringing the task close to the fixture (or vice versa).

Le tableau 3 donne les bénéfices nets calculés à différents niveaux de luminance et de contraste. Les résultats sont déconcertants. Une variation du facteur de contraste de 0,4 unité logarithmique est sensiblement équivalente à la différence entre un jeune adulte normal et un adulte de 65 ans dont la vision n'est pas inférieur à la normale de plus d'un écart-type. La différence entre une copie Xerox et une quatrième copie au papier carbone est de 0,5 unité ou plus. Cela signifie que si P_V = $32,000, il serait raisonnable d'imposer un minimum de sensibilité visuelle comme conditions d'embauche, et que les quatrièmes copies au papier carbone ne devraient tout simplement pas exister.

À notre avis, ce résultat montre que d'aussi grandes valeurs de P_V ne se retrouvent pas dans les tâches de bureau ou bien qu'on les retrouve seulement avec des tâches très visibles. Même avec des valeurs de P_V plus modérées, comme P_V = $4,000 cet effet se traduit par des différences allant de plusieurs centaines à quelques milliers de dollars. Ces différences sont encore assez grandes pour être notables. Nous croyons que peu de tâches ont des valeurs de P_V allant même jusqu'à $4,000. Si de telles tâches existent, nous recommandons fortement que ces dernières soient simplifiées le plus possible et que, pour le moins, la vision des employés soit fréquemment vérifiée.

Conclusion

En général, les résultats obtenus montrent que la puissance par mètre carré optimale pour une performance visuelle rentable est de l'ordre de 10 watts/m^2 ou moins. À ce niveau, l'éclairement ambiant peut être d'environ 150 lux. D'après notre discussion précédente au sujet de l'acuité, ce niveau d'éclairement devrait être suffisant pour permettre aux employés d'effectuer des tâches difficiles à l'écard du poste de travail, au besoin, mais pas nécessairement de façon efficace. Au poste de travail, des niveaux d'éclairement de 1500 lux devraient être rentables même si P_V s'élève à quelques milliers de dollars. De plus, si l'on se sert d'un luminaire local pour éclairer la tâche, on peut au besoin obtenir de plus hauts niveaux d'éclairement en rapprochant la tâche de luminaire (ou vice versa).

Acknowledgements

The work described in this paper was supported by the Assistant Secretary for Conservation and Renewable Energy, Office of Building Energy Research and Development, Building Equipment Division of the U.S. Department of Energy under Contract No. W-7405-ENG-48.

The authors also wish to thank David Goldstein for his helpful comments.

Remerciements

Les travaux décrits dans le présent rapport ont été financés par l'Assistant Secretary for Conservation and Renewable Energy, Office of Building Energy Research and Development, Building Equipment Division of the U.S. Department of Energy (contrat n° W-7405-ENG-48).

Les auteurs désirent aussi remercier David Goldstein pour ses critiques constructives.

Variables	Range of Variables Tested (log units)/ Domaine des variables (unités logarithmiques)	Optimal Light Level Varies in Log Units Between a Minimum of and Maximum of:/ Le niveau d'éclairement optimal varie, en unités logarithmiques, entre un minimum et un maximum de:
P_V	1.8	.9, 1.8
Task Lighting/ Éclairement de la tâche	2.3*	.3, .8
Contrast Factors ($C_4\alpha$)/ Facteurs de contraste ($C_4\alpha$)	1.0	-.3, .8
¢/kwh	.9	.1, .5
Area/ Superficie	.3	0, .3
Lumens/Watt Delivered/ Lumens/Watt fourni	.2	-.1, .4
Reflectivity/ Réflectivité	.6	-.1, .3

TABLE 1
Relative Importance of Several Variables To The Optimum Light Level

TABLEAU 1
Importance relative de plusieurs variables dans la détermination du niveau d'éclairement optimal

* Ratio of task light level to general light level divided by fraction of area that is lit by task lighting.

* Rapport entre le niveau de l'éclairement de la tâche et le niveau d'éclairement ambiant divisé par la fraction de la superficie éclairée par le système d'éclairage local.

P_v	¢/kwh	Light Level/ Éclairement (lux)	Power Density/ Puissance par mètre carré (watts/m^2)
500	2.5-10	300 - 1500	2 - 10
4000	2.5	1200 - 6000	8 - 40
4000	5	900 - 4500	6 - 30
4000	10	600 - 3000	4 - 19
32000	2.5-10	2100 - >1500	13 - >95

TABLE 2
Cost-effective Lighting

TABLEAU 2
Éclairage rentable

General assumptions: ρ = 80 per cent, E_e (general) = 30 lumens/watt, E_e (task) = 15 lumens/watt, area/employee = 20 m^2, 10:1 ratio for task to ambient light level, task area = 5 per cent of total area, and a 1 log unit variation in the contrast factors. Note that averaging over age and task difficulty reduces the spread in the levels.

Hypothèses générales: ρ = 80 pour cent, E_e (général) = 30 lumens/watt, E_e (tâche) = 15 lumens/watt, superficie/employé = 20 m^2, rapport 10:1 entre l'éclairement de la tâche et l'éclairement ambiant, superficie de la tâche = 5 pour cent de la superficie totale, et variation de 1 unité logarithmique des facteurs de contraste. Il est à noter que l'étendue des niveaux est réduite si l'on prend une moyenne d'âge et une difficulté de tâche moyennes.

Log(C_4) - α	Light Level/ Éclairement (lux)	Net Benefit/ Bénéfice net ($)
-1.4	15000	7000
-1.0	75	11110
-1.0	1500	20600
-1.0	15000	22800
-0.8	225	23700
-0.8	1500	27200
-0.8	15000	28500
-0.4	75	30300
-0.4	1500	31680
-0.4	3000	31700

TABLE 3
Net Benefit as a Function of Contrast and Light Level

TABLEAU 3
Bénéfice net en fonction du contraste et des niveaux d'éclairement

Calculated at P_V = \$32000, $(P-P_V) = 0$ and base case conditions as in Table 2.

Valeurs calculées pour P_V = \$32000, $(P-F_V) = 0$ et conditions du cas fondamental identiques à celles du tableau 2.

References/Références

1. Clear, R. and Berman, S. 1980. **Cost-effective visibility-based design procedures for general office lighting.** LBL Report No. 11863. Berkeley, CA: Lawrence Berkeley Laboratory.

2. Clear, R. and Berman, S. 1981. **A new look at models of visual performance.** LBL Report No. 12496. Berkeley, CA: Lawrence Berkeley Laboratory.

3. Simonson, E. and Brozek, J. 1952. Work, vision and illumination. **Illuminating Engineering** June:335-349.

4. Commission Internationale de l'Eclairage. 1981. **An analytic model for describing the influence of lighting parameters upon visual performance.** CIE Publication No. 19/2 (TC-3.1). Paris: Commission Internationale de l'Eclairage.

5. See Figures 1 and 2 of Reference No. 1.

6. See Parts IV and V, Volume II, of Reference No. 4.

7. Roethlisberger, F.J. and Dickson, W.J. 1956. **Management and the worker.** Cambridge, MA: Harvard University Press.

8. Schleicher, F. 1977. Volvo. . . new directions in work systems and technology. **Machine and Tool Blue Book** 72(10):74-85.

9. Blackwell, H.R. and Blackwell, O.M. 1980. Population data for 140 normal 20-30 years olds for use in assessing some effects of lighting upon visual performance. Report to the Illumination Engineering Research Institute, January 1980. Project 30, Part 1.

10. Illuminating Engineering Society. 1981. **Lighting handbook.** 6th ed. New York: Illuminating Engineering Society of North America.

11. Kaneko, J. 1981. An alternative ESI system based on the human visual acuity. Paper presented at the Illuminating Engineering Society Annual Technical Conference, Toronto, Canada, August 9-13, 1981.

12. Henderson, R., McNelis, J.F. and Williams, H.G. 1975. A survey of important visual tasks in offices. **LD&A** January: 18-25.

13. Blackwell, H.R. 1980. Analysis of twenty sets of visual performance data in terms of a quantitative method for prediction of visual performance potential as a function of reference luminance. Report to the Illuminating Engineering Research Institute, August 1980. Project 30, Part 13.

14. Blackwell, O.M. and Blackwell, H.R. 1971. Visual performance data for 156 normal observers of various ages. **Journal of IES** October: 3-13.

15. Clear, R. and Berman, S. 1980. **Cost effectiveness of visibility-based design procedures for general office lighting.** LBL Report No. 10514. Berkeley, CA: Lawrence Berkeley Laboratory.

Dr. P.R. Boyce, B.Sc., M.C.I.B.S.
Research Officer
The Electricity Council Research Centre
Capenhurst, Chester, CHI 6ES
Great Britain

Dr P.R. Boyce, B.Sc., M.C.I.B.S.
Research Officer
The Electricity Council Research Centre
Capenhurst, Chester, CHI 6ES
Grande-Bretagne

ABOUT THE AUTHOR

Peter Boyce was awarded a Bachelor of Science degree in Physics from Reading University in 1962. In 1965 he was awarded a Ph.D. after research on human fixation eye movements. In 1966 he joined the Electricity Council Research Centre to undertake research on lighting and visual performance. He has published more than 30 papers on lighting topics varying from the influence of age on visual performance through the occurrence of visual clarity to the variability of contrast rendering factor. He has been heavily involved in the affairs of the British IES (now the Lighting Division of the CIBS) and is currently the chairman of the panel which is revising the British Code for the lighting of interiors.

L'AUTEUR

Peter Boyce a reçu son baccalauréat des sciences en physique de la Reading University en 1962. En 1965, ses travaux sur les mouvements de fixation de l'oeil humain étaient couronnés d'un doctorat. M. Boyce a joint en 1966 le Electricity Council Research Centre pour y entreprendre des recherches sur l'éclairage et la performance visuelle. L'auteur a signé plus de 30 études portant sur l'éclairage et allant de l'influence de l'âge sur la performance visuelle en passant par l'occurrence de la clarté visuelle jusqu'à la variabilité du facteur de rendu du contraste. M. Boyce a étroitement collaboré aux travaux de la British IES (aujourd'hui la Lighting Division du CIBS) et il est actuellement président du Comité de révision du code britannique d'éclairage intérieur.

THE USE OF VISUAL PERFORMANCE CRITERIA IN GREAT BRITAIN

INTRODUCTION

Taking a lighting installation from inception to completion involves three distinct stages. First is the specification of the lighting conditions to be achieved; second is the design of the installation necessary to create those conditions; third is the evaluation of the lighting after installation. Visual performance is relevant to all three stages; to the first and third directly and to the second by implication. The purpose of this paper is a) to describe the extent to which visual performance criteria are used in each of these stages in Great Britain and b) to suggest reasons why the pattern of use of visual performance criteria is what it is.

The nature of lighting design

In order to set the use of visual performance criteria in context, it is necessary to know who actually does lighting design work. It has been estimated that about three quarters of all industrial and commercial lighting installations in Great Britain are designed by people who would not claim to be lighting engineers (1). Only in the remaining quarter of cases are the services of a lighting engineer used. Given that the majority of lighting installations are designed and specified by people without detailed knowledge of lighting, the most common design process will be as follows:

1. Identify the broad classification of the application for which the lighting is required, e.g. office, warehouse, loading bay, light industrial workshop, etc.

2. Look up the recommended lighting conditions for that application in the general schedule of the CIBS (IES) Code for Interior Lighting (2).

L'UTILISATION DES CRITÈRES DE PERFORMANCE VISUELLE EN GRANDE-BRETAGNE

INTRODUCTION

La réalisation d'une installation d'éclairage comporte trois étapes séparées. D'abord, il faut spécifier les conditions d'éclairage que l'on veut obtenir; ensuite, il faut concevoir l'installation nécessaire pour réaliser ces conditions; enfin, il faut évaluer l'éclairage après l'installation. La performance visuelle est reliée aux trois étapes: elle est liée directement à la première et à la troisième, et indirectement à la deuxième. Cet article a pour objet de a) préciser la mesure dans laquelle on utilise les critères de performance visuelle, à chacune de ces étapes, en Grande-Bretagne, et b) de suggérer des raisons permettant d'expliquer l'état actuel de l'utilisation des critères de performance visuelle.

Nature de la conception d'éclairage

Afin de placer dans son contexte l'utilisation des critères de performance visuelle, il faut savoir en premier lieu qui fait du travail de conception d'éclairage. On estime que les trois quarts environ de toutes les installations d'éclairage industriel et commercial, en Grande-Bretagne, sont conçues par des gens qui ne prétendent pas être des éclairagistes (1). Les services d'un éclairagiste ne sont donc utilisés que dans le quart des cas restant. Vue que la majorité des installations d'éclairage sont conçues et spécifiées par des gens sans connaissances particulières dans le domaine de l'éclairage, la procédure de conception la plus courante est la suivante:

1. Identifier la catégorie générale de l'application pour laquelle on veut concevoir l'éclairage en question, c.-à-d. bureau, entrepôt, quai de chargement, atelier d'industrie légère, etc.

2. Trouver, pour le cas particulier, les conditions d'éclairage recommandées par le tableau général du code d'éclairage d'intérieur du CIBS (IES) (2).

3. Use the lumen method to calculate the array of luminaires necessary to provide the standard service illuminance recommended.

   In a few cases calculations will also be made of the Glare Index likely to occur with the installation and this will be compared with a limiting value given in the CIBS (IES) Code. These two criteria, standard service illuminance, and Glare Index, are the only ones that are likely to be used in the specification and design of the installation.

As for the evaluation of the complete installation, this is only likely to take place if the client wishes to check that he is getting the amount of light he has been led to expect or if there are complaints about the lighting. Even then the evaluation will usually be made in terms of illuminance and Glare Index.

It should be apparent from the above that explicit visual performance criteria play a very minor role in the most common design process. Specifically, they are only involved indirectly to the extent that they are considered in the determination of standard service illuminance.

The procedure adopted by the experienced lighting engineer is likely to be more empirical. It starts with an examination of the type of work which is to be lit. Having identified the nature and range of the tasks which the lighting installation is to serve, the designer then considers the size of detail involved, the contrasts that exist in the material and between the material and background and the need for accurate colour judgment. The designer will then use any available data on the effects of lighting conditions on the specific task of interest to decide on the illuminance required, the most appropriate lighting distribution and a suitable light source. If such information is not available then the recommendations of the CIBS (IES) Code will be used as guidance.

3. Utiliser la méthode des lumens afin de calculer le réseau de luminaires nécessaires pour fournir l'éclairement du service standard recommandé.

   Dans quelques cas, on calculera également l'indice d'éblouissement que l'installation risque d'avoir, puis on le comparera à une valeur limite précisée au Code CIBS (IES). Ces deux critères (l'éclairement de service standard et l'indice d'éblouissement) sont les seuls que le concepteur va probablement utiliser lorsqu'il spécifie et conçoit l'installation.

Quant à l'évaluation de l'installation achevée, elle ne se produira probablement que si le client veut s'assurer qu'il reçoit la quantité de lumière qu'on lui a promise, ou alors s'il y a des plaintes au sujet de l'éclairage. Même là, l'évaluation se fera normalement en termes de l'éclairement et de l'indice d'éblouissement.

Il devient dès lors apparent que les critères explicites de performance visuelle ne jouent qu'un rôle très mineur dans le procédé de conception le plus courant. Plus précisément, ces critères ne sont impliquées qu'indirectement, dans la mesure où on en tient compe lorsqu'on détermine l'éclairement de service standard.

La procédure adoptée par l'éclairagiste expérimenté sera probablement plus empirique. L'ingénieur commence par examiner le type de travail que l'on doit éclairer. Ayant identifié la nature et la gamme des tâches que doit desservir l'installation d'éclairage, le concepteur considère ensuite la grandeur des détails concernés, les contrastes du matériau et entre le matériau et le fond, ainsi que le besoin d'une bonne distinction des couleurs. Le concepteur utilise alors toutes les données disponibles sur l'effet des conditions d'éclairage sur la tâche particulière, afin de choisir l'éclairement nécessaire, la meilleure distribution de l'éclairage ainsi qu'une source lumineuse adéquate. Si de telles informations ne sont pas disponibles, il utilisera les recommandations du code CIBS (IES).

So far the factors considered have all been related to visual performance but the designer will not stop there. He will also consider visual comfort in terms of discomfort glare criteria, illuminance ratios between the room surfaces and around the task and, if he is very advanced, contrast rendering factor. He will also decide on a type of lighting system which is most appropriate i.e. local, localised or general. Once these criteria, and the design approach, have been decided, then the designer will select appropriate light sources and luminaires and arrange a suitable layout to produce the design conditions. The design method used will probably be based on the lumen or point by point method, backed by experience, or the more systematic multiple criterion design method (3).

Jusqu'ici, les facteurs considérés sont reliés à la performance visuelle mais le concepteur ne s'arrête pas là: il considère également le confort global en termes de critères d'éblouissement perturbateur, les rapports d'éclairement entre les surfaces de la pièce et celles qui entourent la tâche; le concepteur avisé tient compte également du facteur de rendu du contraste. Il décide aussi du type de système d'éclairage le mieux adapté, notamment un système local, localisé ou général. Ayant déterminé ces critères et l'approche de conception, le concepteur choisit les luminaires et sources lumineuses appropriés et crée un agencement approprié pour produire les conditions voulues. La méthode de conception sera probablement celle des lumens ou la méthode point par point, étayée par l'expérience, ou la méthode de conception plus systématique des critères multiples (3).

As for the evaluation, again this is unlikely to be undertaken unless the client wishes to check that he is getting what he is paying for or there are complaints about the lighting or the design is radically different. In the last case, the designer may wish to make some evaluation himself. If an evaluation is made, the first step will usually be to examine each criterion in turn to see that it has been met.

Là encore, il est peu probable qu'il y ait une évaluation, à moins que le client ne veuille s'assurer qu'il reçoit ce qu'on lui a promis, ou lorsqu'il y a des plaintes au sujet de l'éclairage, ou alors lorsqu'il s'agit d'une conception radicalement différente. Dans ce dernier cas, il se peut que le concepteur lui-même veuille faire une évaluation. Advenant une évaluation, elle aura généralement comme première étape un examen de chaque critère, tour à tour, pour s'assurer qu'on a répondu à tous les critères.

It should be apparent that visual performance criteria are more explicitly involved in this procedure but they are not the only factor considered when developing a design. It is also interesting to note the appearance of one element from the model in CIE publication 19/2 (4), namely contrast rendering factor. However, the usual practice in Great Britain is to regard contrast rendering factor as a criterion of lighting quality in its own right (5) rather than as part of a system for predicting visual performance.

On voit ainsi que les crières de performance visuelle participent de manière plus explicite à ce procédé, mais il ne s'agit pas là du seul facteur considéré lorsqu'on élabore une conception. Notons également l'apparition d'un élément du modèle présenté dans la publication CIE 19/2 (4), c.-à-d. le facteur de rendu du contraste. Cependant, en Grande-Bretagne, on considère généralement le facteur de rendu du contraste comme un critère de qualité d'éclairage en soi (5) plutôt que comme partie intégrante d'un système permettant de prévoir la performance visuelle.

The conclusions to be drawn from these two descriptions of the conventional design and evaluation procedures used in Great Britain are that visual performance criteria are only important in the sense that they are implicit in the CIBS (IES) Code Recommendations and/or data is available on specific activities of interest. In fact the latter situation is rare. The use of the Code Recommendations either without question or as guidance is much more common. It is therefore desirable to consider the type of visual performance data that is used either directly or indirectly in the Code.

Visual performance content of code recommendations

The 1961 IES Code (6) contained a nomogram whereby the illuminance necessary to ensure at least 90 per cent relative visual performance for a task could be calculated. The equation for the nomogram was

$$E = \frac{180S^{-1.5}}{\rho}$$

where E = illuminance required in lumens per square meter

S = size of critical detail in min-arc,

and ρ = reflectance of the lighest part of the task, either target or background.

À partir des deux descriptions précédentes, nous pouvons tirer des conclusions. La conception et les procédés d'évaluation classiques utilisés en Grande-Bretagne sont que l'on ne tient compte des critères de performance visuelle que dans la mesure où ceux-ci sont implicites dans les recommandations du Code CIBS (IES) et/ou des données sont disponibles sur les activités précises en question. En réalité, il est rare que de telles données soient disponibles. Généralement, on se contente d'utiliser les recommandations du Code sans question ou en tant que guide. Il faut donc examiner le type de données de performance visuelle utilisées dans le code, soit directement soit indirectement.

Précisions sur la performance visuelle dans les recommandations du code

Le code IES 1961 (6) contenait un nomogramme permettant de calculer l'éclairement nécessaire pour assurer une performance visuelle relative d'au moins 90 pour cent pour une tâche donnée. L'équation du nomogramme était

$$E = \frac{180S^{-1.5}}{\rho}$$

où E = éclairement nécessaire en lumens par mètre carré

S = grandeur des détails critiques, en minutes d'arc

et ρ = facteur de réflexion de la partie la plus claire de la tâche, que ce soit la tâche-cible ou le fond.

The equation and the resulting nomogram were suggested by Weston (7) and were apparently based on his studies of visual performance on a Landolt ring chart at different illuminances (8). He claimed that while 90 per cent was the minimum level of relative visual performance that would be achieved, this was a level that would be attained with low contrast tasks. For higher contrast tasks the relative visual performance would be closer to 100 per cent. The illuminance recommendations made in the 1961 IES Code for a number of different areas/activities are shown in Table 1. It can be seen that as the size of detail inherent in the task in each area decreases the recommended illuminances increase.

Editions of the IES Code in 1968, 1973 and 1977 have omitted the explicit reference to the influence of visual performance on the illuminance recommendations. Nonetheless the recommended illuminances for tasks of different sizes have not changed greatly, at least in a relative sense (Table 1). It can be concluded that although the current CIBS (IES) Code for interior lighting claims only to make recommendations representative of good practice, the influence of Weston's visual performance studies is strong.

The only situation where visual performance is considered in any other form is where evidence exists which has an obvious face validity with the application being considered e.g. Smith and Rae (9, 10) for office work. Then, the discussion of the lighting conditions which should be specified tends to be related to the specific study rather than the general size/contrast approach defined by Weston.

By now it should be apparent that the model contained in CIE 19/2 is virtually unused for practical lighting design purposes in Great Britain. Where it is used it is as a plaything of academics rather than as a useful design tool. Only one small part, contrast rendering factor, has come even near to being accepted as of value. It is now necessary to consider why this should be so.

L'équation et le monogramme résultant ont été suggérés par Weston (7); ils sont apparemment basés sur ses études de la performance visuelle sur une charte d'anneaux de Landolt, à divers éclairements (8). Weston affirme que si 90 pour cent était le niveau minimum de performance visuelle relative qui serait réalisé, il s'agit là d'un niveau qui serait atteint pour des tâches à faible contraste. Pour les tâches à contraste plus fort, la performance visuelle relative se rapprocherait de 100 pour cent. Le tableau 1 indique les recommandations d'éclairement qu'avait faites le code IES 1961 pour plusieurs aires/activités différents. On voit que l'éclairement recommandé augmente à mesure que diminue la grandeur des détails de la tâche dans chaque aire.

Dans les éditions 1968, 1973 et 1977 du code IES, on a omis toute référence expresse à l'influence de la performance visuelle sur les recommandations d'éclairement. Cependant, les éclairements recommandés pour les tâches de différente dimensions n'ont pas beaucoup changés, du moins dans un sens relatif (tableau n° 1). Quoique le code CIBS (IES) pour l'éclairage d'intérieur ne prétend offrir que des recommandations correspondant à la pratique correcte du métier, nous pouvons conclure que les études de Weston sur la performance visuelle exercent une forte influence.

La seule situation où l'on considère la performance visuelle sous une autre forme quelconque, c'est lorsqu'on sait qu'il y a un lien évident avec l'application considérée - voir Smith et Rae (9, 10) pour le travail de bureau. À ce moment-là, le débat quant aux conditions d'éclairage à spécifier se rapporte à l'étude particulière plutôt qu'à l'approche générale grandeur/contraste définie par Weston.

On voit donc que le modèle précisé par la publication CIE 19/2 n'est pratiquement jamais utilisé, en Grande-Bretagne, à des fins de conception effective de l'éclairage. Ce modèle sert de jouet des théoriciens plutôt que d'instrument de conception ayant une utilité pratique. Une petite partie seulement de la chose, le facteur de rendu du contraste, a réussi à s'imposer, bien que partiellement, en tant qu'élément valable. Examinons donc maintenant les raisons d'être de cet état de choses.

Area/Activity Aire/activité	Édition 1961 Edition	Édition 1968 Edition	Édition 1973 Edition	Édition 1977 Edition
Foundries - rough moulding/ Fonderies - moulage brut	161	200	300	300
Bakeries/Boulangeries	161	200	300	300
Bottling and canning retorts/ Vaisseaux d'embouteillage et de mise en conserve	215	200	300	300
Glass cutting/Taille du verre	215	200	300	300
General Offices/Bureaux généraux	323	400	500	500
Medium machine work/ Travail moyen sur des machines	323	400	500	500
Print composing room/ Salle de composition typographique	484	600	750	750
Fine paint spraying/Pulvérisation précise de la peinture	484	600	750	750
Fine assembly of electrical equipment/Montage précis d'équipement électrique	753	900	1000	1000
Gauge and tool rooms/ Salles d'instruments et d'outils	753	900	1000	1000

TABLE 1

Illuminances Recommended in Various Editions of the IES Code for Interior Lighting (lux)

TABLEAU 1

Éclairements recommandés par les diverses éditions du code IES pour l'éclairage d'intérieur (lux)

The reason why

People's responses whenever the model in CIE 19/2 is mentioned reveal them as belonging to one of three groups. The first group is large. It is made up of those who either do not know the model exists or, if they do know of its existence, have not bothered to study it in any detail, considering it to be at best, an interesting academic development of little practical relevance. The second group, which is very much smaller than the first, consists of those who have studied but who do not believe the model is valid. The third group which is even smaller than the second consists of those lighting engineers who have read CIE publication 19/2 and who are prepared to accept the model as correct but who do not understand how to apply the model to the practical work of designing lighting installations. These three groups can be labelled as representing ignorance, disbelief and confusion.

The opinions of the first group could be changed by publicity, although the effect might only be to move them into the second or third groups. The opinions of the second group can only be countered by evidence relating to their objections which calls for further experimentation on the model. The opinions of the third group could be changed by providing examples of how and when the model might be applied. Such examples would need to deal with realistic situations. For example, it would have to demonstrate how the model could predict the level of visual performance to be expected in commercial buildings where the lighting installation was to light tasks with a wide range of visual difficulty, being done by people of different ages, with the tasks located in different positions and viewed at different angles. Further, examples would need to be produced which demonstrated how the model could predict visual performance for three-dimensional tasks in industrial situations. If such examples could be produced then the model in CIE 19/2 might be considered as an integral part of the design process either directly, or indirectly by its influence on the determination of lighting recommendations.

La raison d'être

D'après leur réaction lorsqu'on mentionne le modèle de CIE 19/2, les gens se subdivisent en trois groupes. Le premier est très important; il comprend tous ceux qui sont ne savent pas que le modèle existe, soit s'ils en connaissent l'existence, il ne se sont pas donnés la peine de l'étudier en détail, jugeant qu'il s'agissait là, au mieux, d'un élément théorique intéressant mais ayant une valeur pratique fort limitée. Le deuxième groupe, beaucoup plus petit que le premier, comprend ceux qui ont étudié le modèle mais qui ne pensent pas qu'il soit valide. Le troisième groupe, encore plus réduit que le deuxième, comprend les éclairagistes qui ont lu la publication 19/2 de la CIE et qui considèrent le modèle valide, mais qui ne savent pas, dans la pratique, comment l'utiliser pour la conception des installations d'éclairage. Trois expressions caractérisent bien chacun de ces trois groupes: ignorance, incrédulité et confusion.

Par la publicité, l'opinion des gens du premier groupe pourrait changer bien que l'effet sera peut-être simplement de les faire passer au deuxième ou troisième groupe. On ne peut réfuter les opinions du deuxième groupe qu'en présentant des preuves concernant ses objections, preuves qui exigent des essais plus approfondis du modèle. On pourrait modifier les opinions du troisième groupe en donnant des exemples particuliers précisant comment et où on pourrait appliquer le modèle. De tels exemples doivent, bien sûr, traiter de situations réalistes. Par exemple, on aurait à démontrer comment le modèle peut prévoir le niveau de performance visuelle auquel on doit s'attendre dans les immeubles commerciaux où l'installation d'éclairage doit éclairer des tâches ayant une vaste gamme de difficulté visuelle, effectuées par des gens d'âges différents, avec des tâches situées à des endroits différents et vues sous des angles différents. On doit également produire des exemples démontrant comment le modèle peut prévoir la performance visuelle pour des tâches tridimensionnelles, dans des situations industrielles. Si l'on pouvait donner de tels exemples, le modèle CIE 19/2 sera peut-être considéré comme faisant partie intégrante du processus de conception, soit directement, soit indirectement, par le biais de son influence sur la détermination des recommandations d'éclairage.

However, there is one more objection that is likely to arise even if a suitable method of application could be demonstrated. In general, a well established, simple approach to a problem is only likely to be replaced by a new, more complex approach if the latter offers considerable advantages over the former. No one could claim that the present system of determining lighting criteria for commercial and industrial buildings is based on an exact evaluation of the visual performance aspects of the work carried out in those buildings. At best the criteria adopted are derived from data of limited relevance, especially for industrial situations. Therefore, any justification of the existing lighting criteria has to rest on experience; and this is the ultimate test.

Cependant, on opposera probablement une objection supplémentaire, même si l'on pouvait démontrer une méthode d'application appropriée. En général, une approche simple et bien établie n'est remplacée par une approche nouvelle, plus complexe, que lorsque cette dernière offre des avantages considérables par rapport à la première. Personne ne prétend que les système actuel servant à déterminer les critères d'éclairage des immeubles commerciaux et industriels est basé sur une évaluation précise de l'aspect "performance visuelle" du travail qui se fait dans ces immeubles. Au mieux, les critères adoptés sont basés sur des données peu pertinentes, surtout en ce qui concerne les situations industrielles. Toute justification des critères d'éclairage existants doit donc être basée sur l'expérience, et c'est l'expérience qui en est la preuve définitive.

No matter what the scientific standing of any set of environmental criteria is, if installations based on these criteria cause problems related to performance or comfort then the criteria are wrong or insufficient. The existing lighting criteria have, by and large, been justified by experience. It is rare for a lighting installation based on current lighting recommendations to cause complaints of either performance difficulty or discomfort.

Quel que soit le statut scientifique d'un ensemble de critères environnementaux, ces critères sont évidemment incorrects ou insuffisants si des installations basées sur eux entraînent des problèmes de performance ou de confort. En général, les critères d'éclairage existants sont justifiés par l'expérience. Les installations d'éclairage conçues avec les recommandations d'éclairage actuelle n'occasionnent pas de plaintes de gêne ou de difficulté de performance.

In this situation, what has the model in CIE 19/2 got to offer? A possible answer is precision and understanding. The understanding arises from the way it reveals the influence the various components which make up the lighting/task/worker combination have on the visibility and performance of the task. The precision arises from the apparent accuracy with which experimental performance data can be fitted by the model. However, the precision case is presently not proven. The "prediction" of relative visual performance for different sets of experimental performance data shown in CIE publication 19/2 are really estimations rather than predictions.

Sous cette optique, quel avantage nous offre le modèle CIE 19/2? Et bien, on pourrait dire que ces avantages sont la précision et la compréhension. Compréhension, parce qu'il révèle l'influence qu'ont les divers composants de la combinaison éclairage/tâche/travailleur sur la visibilité et la performance de la tâche. Précision, parce que le modèle correspond avec une bonne précision apparente aux données de performance expérimentale. Toutefois, cette précision n'a pas encore fait ses preuves. La "prévision" de la performance visuelle relative pour divers ensembles de données de performance expérimentales qui figurent dans la publication CIE 19/2 est en réalité une évaluation plutôt qu'une prévision.

To prove the level of precision achievable with the model calls for a number of accurate predictions to be demonstrated with realistic performance data. But that alone will not be enough. The "predictions" demonstrated in CIE 19/2 stop at the visual performance stage. While this may be justifiable for those interested in lighting, the interest of the majority of clients will be in task performance and not in visual performance. Thus the model needs to be extended to embrace task performance as well as visual performance. If this were done and the claim for precision could be demonstrated for realistic situations, then the model contained in CIE 19/2 would have a chance of being used in conventional lighting design either directly or indirectly via codified recommendations.

Afin de démontrer le niveau de précision que permet de réaliser le modèle, il faut démontrer un certain nombre de prévisions exactes au moyen de données de performance réalistes. Cependant, cela ne suffit pas. Les "prévisions" démontrées par CIE 19/2 s'arrêtent au stade de la performance visuelle. Bien que cela se justifie pour ceux qui s'intéressent à l'éclairage, la majorité des clients s'intéressent à la performance de la tâche plutôt qu'à la performance visuelle. On doit donc élargir le modèle afin d'y incorporer la performance de tâche ainsi que la performance visuelle. Si l'on apportait ces preuves et si l'on démontrait la précision du modèle dans ces situation réalistes, il y aurait à ce moment-là une chance que le modèle CIE 19/2 soit utilisé dans la conception d'éclairage classique, soit directement soit indirectement, par le biais de recommandations codifiées.

At present the only part of the CIE 19/2 model which is used is the contrast rendering factor. The contrast rendering factor provides a convenient measure of the effect of veiling reflections, something which no other existing measure could do. For this reason the contrast rendering factor has at least been considered as a useful criterion by some designers. The complete model in CIE 19/2 will not be similarly embraced until it can offer an equally obvious advantage.

Actuellement, la seule partie du modèle CIE 19/2 qui est effectivement utilisée, c'est le facteur de rendu du contraste. Ce facteur permet de mesurer convenablement l'effet des réflexions de voile, ce qui était impossible avec les autres moyens de mesures existants. C'est pour cela que certains concepteurs ont au moins considéré le facteur de rendu du contraste en tant que critère utile. De même, le modèle CIE 19/2, dans son ensemble, ne sera pas adopté avant qu'il n'offre un avantage tout aussi évident.

References/Références

1. Aldworth R.C., Chairman's Address, CIBS Lighting Division, London, 1980.

2. Chartered Institute of Building Services, IES Code for Interior Lighting, CIBS, London, 1977.

3. Chartered Institution of Building Services, IES Technical Report 15, Multiple Criterion Design: A Design Method for Interior Electric Lighting Installations, CIBS, London, 1977.

4. Commission Internationale de l'eclairage Publication 19/2, An Analytic Model for Describing the Influence of Lighting Parameters upon Visual Performance, CIE, Paris, 1981.

5. Boyce, P.R. and Slater, A.I., The Application of CRF to Office Lighting Design, Lighting Research and Technology, 13, 65, 1981.

6. Illuminating Engineering Society, The IES Code: Recommendations for Good Interior Lighting, IES, London, 1961.

7. Weston, H.C., Sight, Light and Work, H.K. Lewis, London, 1962.

8. Weston, H.C., The Relation between Illuminance and Visual Performance, Industrial Health Research Board, Report No. 87, H.M.S.O., London, 1945.

9. Smith, S.W., and Rae, M.S., Proof Reading under Different Levels of Illumination, JIES, 8, 47, 1978.

10. Smith, S.W., and Rae, M.S., Relationship between Office Task Performance and Ratings of Feelings and Task Evaluations under Different Light Sources and Levels, Proc. CIE, Nineteenth session, Kyoto, 1979.

Werner K. Adrian., Dip-In., Dr.-Ing habil
School of Optometry
Waterloo, Ontario
N2L 3G1

ABOUT THE AUTHOR

Dr. Adrian, Professor, University of Waterloo School of Optometry is a Bio-Engineer. Prior to his immigration to Canada, Dr. Adrian had been associated for seventeen years with the University of Karlsruhe, West Germany, where he devoted much of his time to vision research with emphasis on mesopic and scotopic vision especially as these related to the problems of night-time traffic. While at the University of Karlsruhe, he was a delegate to the CIE - the Commission International De L'Eclairage. Dr. Adrian is a member of the Board of the Illuminating Engineering Research Committee, New York. He is known for his basic contributions on the effect of glare in road traffic and the lighting of tunnel entrances in daytime based on the physiological requirements of the eye. Dr. Adrian is presently teaching and conducting research in Physiological Optics and Environmental Vision at Waterloo.

Werner K. Adrian., Dip-In., Dr.-Ing habil
School of Optometry
Waterloo (Ontario)
N2L 3G1

L'AUTEUR

Dr Adrian, ingénieur de biologie, enseigne à l'école d'optométrie de l'université de Waterloo. Avant sa venue au Canada, il a travaillé pendant 17 ans à l'université de Karlsruhe, en Allemagne de l'Ouest, où il a consacré la plupart de ses travaux à la recherche sur la vision, particulièrement sur la vision mésopique et scotopique et sur les problèmes de la circulation routière nocturne. Pendant ces mêmes années, il a été délégué auprès de la Commission internationale de l'éclairage. M. Adrian est membre du Conseil du Illuminating Engineering Research Committee, de New York. Il est réputé pour ses contributions fondamentales sur l'effet de l'éblouissement dans la conduite routière et sur l'éclairage diurne des entrées de tunnel basé sur les besoins physiologiques de l'oeil. M. Adrian est actuellement professeur et chercheur en optique physiologique et en vision environnementale à Waterloo.

ON THE CONTRAST SENSITIVITY OF THE HUMAN EYE

Introduction

When dealing with the luminance difference or contrast threshold of the human eye an equation providing easy calculation of this elementary visual function would be desirable. In order to establish an appropriate formula M. Berek[1] has collected experimental data which were available in 1941 as a base. These data however originated from different studies carried out by Siedentopf, Arndt, Weigel-Knoll, Schönwald and Schuhmacher. The conditions and range of parameters involved in these measurements differed from each other. Partly the colour temperature of the light, which is of great meaning for thresholds as S. Kinney[2] has shown, the age of the subjects and the measuring method applied were not described in detail. Thus it may not be a surprise that some findings deviated rather appreciably. As a consequence the Berek-formula reprints an average of all these findings, mainly determined however by the data of Siedentopf which represented the better parts of all.

For that reason the formula established by Berek permits a rough approximation of the threshold value. For a point source subtending 1' in diameter Adrian had to determine the threshold in the scotopic and mesopic luminance range[3]. 6 observers aging between 25 and 35 years had been involved in the experiments. The location at which the test patch occurred was known to the subjects. The procedure was as follows. In a surrounding field of $25^{o} \times 52^{o}$ in size the luminance of the continuously presented target was raised until the observer reported that he could perceive it very easily. The colour temperature of the light was measured to be $T_f = 3200^{o}K$ (due to the heat filters left in the projectors). Figure 1 shows the average readings of several sessions indicated by circles. The solid line was calculated according to Bereks formula.

LA SENSIBILITÉ DIFFÉRENTIELLE DE L'OEIL HUMAIN

Introdution

Pour travailler avec la différence de luminance ou le seuil de contraste de l'oeil humain, il serait utile d'avoir une équation permettant de calculer facilement cette fonction visuelle élémentaire. M. Berek[1] a recueilli des données expérimentales qui étaient disponibles en 1941 comme données de base, afin d'établir une équation appropriée. Ces données provenaient toutefois de différentes études effectuées par Siedentopf, Arndt, Weigel-Knoll, Schönwald and Schuhmacher. Les conditions d'obtention et les gammes de paramètres qui intervenaient dans ces données étaient toutes différentes. En particulier, la température de couleur de la lumière, qui a une grande importance dans la détermination des seuils comme S. Kinney[2] l'a montré, l'âge des sujets et la méthode utilisée n'étaient pas suffisamment précisés. Ce n'est donc pas surprenant que certains résultats diffèrent de façon notable. Par conséquent, la formule de Berek donne seulement une moyenne de tous ces résultats, moyenne cependant nettement appuyée sur les données de Siedentopf, qui constituent le meilleur ensemble de tous.

Voilà pourquoi la formule établie par Berek ne permet qu'une grossière approximation du seuil. Adrian a eu à déterminer le seuil, dans une gamme de luminance correspondant aux visions scotopique et mésopique[3] pour une source ponctuelle sous-tendant un diamètre de 1'. Six observateurs dont l'âge variait entre 25 et 35 ans ont participé aux expériences. Les sujets connaissaient la position de la tache d'essai. La méthode était la suivante: dans un champ environnant de 25^{o} sur 52^{o}, la luminance de la cible présentée de façon continue était élevée jusqu'à ce que l'observateur dise percevoir la cible très facilement. La température de couleur de la lumière mesurée était $T_f = 3200^{o}K$ (à cause des filtres de chaleur laissés dans les projecteurs). La figure 1 montre les lectures moyennes effectuées pendant plusieurs sessions, indiquées par des cercles. La ligne pleine a été calculée à partir de la formule de Berek.

Although the threshold had been relatively high the findings obviously deviated for the highest background luminance. It appears that the dashed line yields a better approximation than the solid curve does. Supposing that the deviation could be due to the inhomogeneous material the Berek-formula was based on the idea became evident to make use of more homogeneous data which were published in the meantime. Following this line Blackwell's studies[4] carried out in 1946 proved to contain the most suitable and comprehensive experimental material. The conditions involved in part III of his studies were similar to those of the formerly mentioned German investigators. The readings were analyzed by statistical methods and represent the thresholds for 50 per cent probability of seeing. In the studies containing 90,000 readings from 7 observers the test field had positive contrast and was presented for 15 seconds. Its size varied from 3.6' up to 121'. The luminance of the surrounding field covered the range between 3×10^{-4} cd/m^2 and 3×10^{2} cd/m^2. The observer was allowed to free viewing. The test appeared in the center of a marked area. The aim of this paper is to establish a mathematical function on these data which may describe the threshold more accurately and by comparison probably will explain the deviation indicated in figure 1.

Bien que le seuil ait été relativement élevé, il y a écart manifeste pour la plus haute luminance de fond. On observe que la ligne en traits donne une meilleure approximation que la ligne pleine. Si l'on suppose que l'écart est dû au manque d'homogénéité des données servant de base à la formule, l'idée s'impose alors d'utiliser les données plus homogènes qui ont été publiées entretemps. Dans cette optique, les études menées par Blackwells en 1946 sont sans doute celles qui ont été faites à partir des données expérimentales les plus appropriées et les plus complètes. Les conditions en jeu dans la troisième partie de ces études sont comparables à celles dans lesquelles ont travaillé les chercheurs allemands susmentionnés. Les résultats ont été analysés par des méthodes statistiques et ils représentent les seuils correspondant à une probabilité de vision de 50 pour cent. Dans les expériences comportant 90 000 lectures effectuées par 7 observateurs, le champ d'essai avait un contraste positif et était présentée pendant 15 secondes. Sa taille variait de 3,6' à 121'. La luminance du champ environnant couvrait la gamme des valeurs entre 3×10^{-4} cd/m^2 et 3×10^{2} cd/m^2. Les conditions d'observation étaient au gré de l'observateur. Enfin, la tache d'essai se situait au centre d'une surface marquée. Le but du présent rapport est d'établir une fonction mathématique à partir de ces données, qui permette de définir le seuil avec plus de précision, et qui par comparaison explique peut-être l'écart observée dans la figure 1.

Procedure

When plotting the just perceptible luminance difference ΔL of a target in a uniform field versus its size α we obtain a response as shown in figure 2. The background luminance L_u in this example amounts to 10^3 cd/m^2. In the range of small objects the curve follows the equation

$$\log \Delta L = -2 \log \alpha + m$$

leading to

$$\Delta L \cdot \alpha^2 \curvearrowright \text{constant} \Big|_{\alpha \to \infty} \qquad \text{(eq. 1)}$$

which corresponds to Ricco's law expressing that the product of the illumination or luminance difference and area are constant.

Méthode

Le graphique de la différence de luminance, (ΔL) juste perceptible d'une cible placée dans un champ uniforme en fonction de sa taille α donne une courbe semblable à celle de la figure 2. La luminance de fond L_u est de 10^3 cd/m^2. Pour les petits objets, la courbe correspond à l'équation

$$\log \Delta L = -2 \log \alpha + m$$

d'où on obtient

$$\Delta L \cdot \alpha^2 \curvearrowright \text{constante} \Big|_{\alpha \to \infty} \qquad \text{(éq. 1)}$$

ce qui correspond à la loi de Ricco selon laquelle le produit de l'éclairement ou de la différence de luminance et de la superficie est contant.

For larger objects the curve turns out to be parallel to the abscissa which can be described by the equation

$$\log \Delta L = \text{constant} \mid_{\alpha \to \infty} \qquad \text{(eq. 2)}$$

This reflects Webers law (saying that the threshold value in this range is determined by ΔL only.

Berek started from the equations

$$\log \Delta L = z \cdot \log \alpha + m \qquad \alpha \to o \qquad \text{(eq. 3)}$$

$$\log \Delta L = \log L \qquad \alpha \to \infty \qquad \text{(eq. 4)}$$

z was found to be -2 as shown in figure 2. He introduced the expression $\emptyset(L_u)$ and $L(L_u)$ in the precedent equations leading to:

$$\Delta L_{\alpha \to o} = \emptyset (L_u) \cdot \alpha^{-2} \qquad \text{(eq. 5)}$$

$$\Delta L_{\alpha^{\infty}} = L(L_u) \qquad \text{(eq. 6)}$$

This assumption was made to reflect Ricco's and Webers law and called "luminous flux function ($\emptyset(L_u)$)" and "luminance function ($L(L_u)$)". Berek indicated that geometrical summation of equation 5 and 6 could be used to approximate the experimental data. By this method we obtain:

$$\Delta L = K \cdot \left(\sqrt{\frac{\emptyset}{\alpha}} + \sqrt{L} \right)^2 \ cd/m^2 \qquad \text{(eq. 7)}$$

The data were plotted in terms of the two functions $\emptyset(L_u)$ and $L(L_u)$ involving Ricco's and Webers law respectively against the background luminance L_u. The Blackwell data was processed in the same way. For optional approximation three different subdivisions of L_u proved to be necessary. They can be expressed by the following equations:

Pour des objets plus gros, la courbe devient parallèle à l'axe des abscisses et elle peut être décrite par l'équation

$$\log \Delta L = \text{constant} \mid_{\alpha \to \infty} \qquad \text{(éq. 2)}$$

Cette équation exprime la loi de Webers selon laquelle, dans cette gamme, le seuil est déterminé uniquement par ΔL.

Berek était partie des équations

$$\log \Delta L = z \cdot \log \alpha + m \qquad \alpha \to o \qquad \text{(éq. 3)}$$

$$\log \Delta L = \log L \qquad \alpha \to \infty \qquad \text{(éq. 4)}$$

La figure 2 montre que z est égal à -2. Puis il a introduit les expressions $\emptyset(L_u)$ dans les équations précédente pour obtenir:

$$\Delta L_{\alpha \to o} = \emptyset (L_u) \cdot \alpha^{-2} \qquad \text{(éq. 5)}$$

$$\Delta L_{\alpha^{\infty}} = L(L_u) \qquad \text{(éq. 6)}$$

Cette hypothèse a été formulée pour refléter les lois de Ricco et Webers, appelées "fonction de flux lumineux ($\emptyset(L_u)$)" et "fonction de luminance ($L(L_u)$)". Berek a indiqué que la somme géométrique de ces équations (5 et 6) pouvait permettre une approximation des données expérimentales. Il vient aussi:

$$\Delta L = K \cdot \left(\sqrt{\frac{\emptyset}{\alpha}} + \sqrt{L} \right)^2 \ cd/m^2 \qquad \text{(éq. 7)}$$

Les données ont été portées sur un graphique en fonction des deux fonctions $\emptyset(L_u)$ et $L(L_u)$ représentant respectivement les lois de Ricco et de Webers, pour une luminance de fond L_u. Les données de Blackwell ont été traitées de la même façon. Pour obtenir une approximation optimale, il a fallu trois subdivisions différentes de L_u. Ces dernières peuvent être exprimées par les équations suivantes:

1) $L_u \geq 2.59$ cd/m^2

$$\log \sqrt{\emptyset} = -0.059 + 0.343 * \log L_u$$

$$\log \sqrt{L} = -1.382 + 0.643 * \log L_u - 0.0475(\log L_u)^2$$

2) $L_u \leq 0.00418$ cd/m^2

$$\log \sqrt{\emptyset} = 0.028 + 0.173 * \log L_u$$

$$\log \sqrt{L} = -0.891 + 0.5275 * \log L_u + 0.0227(\log L_u)^2$$

3) 0.00418 cd/m^2 $< L_u <$ 2.59 cd/m^2

$$\log \sqrt{\emptyset} = -0.072 + 0.3372 * \log L_u + 0.0866(\log L_u)^2$$

$$\log \sqrt{L} = -1.256 \quad 0.319 * \log L_u$$

The $\sqrt{\emptyset}$ and $\sqrt{L}$ functions were calculated for different background luminances L_u and presented together with those after Berek in table I (see appendix) to allow comparison and to facilitate computation of ΔL.

Figure 3 comprises the original data as symbols submitted in table VII on page 640 of Blackwell's publication (1946) and the calculated function in solid lines after equation 7 or table I respectively. The curves show a rather satisfying fit of the data.

1) $L_u \geq 2,59$ cd/m^2

$$\log \sqrt{\emptyset} = -0,059 + 0,343 * \log L_u$$

$$\log \sqrt{L} = -1,382 + 0,643 * \log L_u - 0,0475(\log L_u)^2$$

2) $L_u \leq 0,00418$ cd/m^2

$$\log \sqrt{\emptyset} = 0,028 + 0,173 * \log L_u$$

$$\log \sqrt{L} = -0,891 + 0,5275 * \log L_u + 0,0227(\log L_u)^2$$

3) 0,00418 cd/m^2 $< L_u <$ 2,59 cd/m^2

$$\log \sqrt{\emptyset} = -0,072 + 0,3372 * \log L_u + 0,0866(\log L_u)^2$$

$$\log \sqrt{L} = -1,256 \quad 0,319 * \log L_u$$

Pour permettre les comparaisons et pour faciliter le calcul ΔL, les fonctions $\sqrt{\emptyset}$ et $\sqrt{L}$ ont été calculées pour différentes luminances de fond L_u et présentées dans le tableau I (voir annexe) avec les valeurs obtenues d'après Berek.

La figure 3 comprend les données originales, sous la forme des symboles apparaissant au tableau VII de la page 640 du rapport de Blackwell (1946), de même que les fonctions calculées respectivement d'après l'équation 7 ou le tableau I, en lignes pleines. Les courbes s'ajustent assez bien au données.

Comparison Berek-Blackwell

The thresholds calculated after Blackwell are valid for 50 per cent probability of seeing. For a higher rate of probability Blackwell has given a relation between the contrast $\Delta L/L$ and frequency of seeing which is redrawn in figure 4. It appears to be questionable that this relation should be independent of L_u. One would be inclined to assume the function becoming steeper for higher adapting luminances due to the increasing contrast sensitivity of the eye. To convert 50 per cent probability to a higher one which provides perception of the object nearly 100 per cent Blackwell supposes a factor of 2.4 by which ΔL has to be multiplied. It is a matter of general experience that a near 100 per cent probability will be achieved taking 3 times the standard deviation which arrives to be at the same value as mentioned before namely $\sim$ 2.4. H. Zwahlen[8] concluded to apply a factor of 2.6 for the transfer of 50 per cent into $\sim$ 100 per cent probability of perceptibility.

For best coincidence between the heavy curves in figure 5 calculated after Bereks formula and the dashed ones derived from the Blackwell data it was ncessary to multiply the ordinates by 3.1. This exceeds the above indicated factors of 2.4 to 2.6 confirming that the threshold values following Bereks curve (figure 1) seems to be relatively high and perception of the stimuli is always possible. Moreover we learn from figure 5 that a recess appears in the range of transition from scotopic to mesopic luminances which may be due to the cones coming into function. This particular response just submerges in the Berek curves, which is due to the wide spreading material they are based on. Thus computing thresholds by means of equation 7 (table I) based on the Blackwell data yields more accurate results and reflects the real behaviour of threshold response. With this knowledge the deviation of my own data which occurred in figure 1 seems no longer surprising and can be explained. The dashed line is calculated using the Blackwell data with a constant of $k = 3.1$.

Comparaison Berek-Blackwell

Les seuils calculés d'après Blackwell sont valables pour une probabilité de vision de 50 pour cent. Pour un taux de probabilité plus élevé, Blackwell a donné une relation entre le contraste $\Delta L/L$ et la fréquence de vision, qui est représentée à la figure 4. On peut se demander si cette relation doit être indépendante de L_u. On aurait tendance à supposer que la pente devient plus forte pour les luminances d'adaptation plus élevées à cause de la sensibilité différentielle croissante de l'oeil. Pour convertir une probabilité de 50 pour cent en une probabilité plus élevée établissant la perception de l'objet à près de 100 pour cent, Blackwell introduit un facteur de 2,4 par lequel on doit multiplier ΔL. On sait par expérience qu'on peut obtenir une probabilité de près de 100 pour cent avec une déviation standard trois fois plus grande, et que l'on arrive ainsi à la valeur déjà mentionnée, soit environ 2,4. H. Zwahlen[8] conclut pour sa part que le facteur doit être 2,6 pour passer à une probabilité de perceptibilité de 50 pour cent à près de 100 pour cent.

Pour obtenir une meilleure coïncidence entre les courbes pleines de la figure 5 calculées d'après la formule de Berek et les courbes en traits obtenues d'après les données de Blackwell, il a fallu multiplier les ordonnées par 3,1. On dépasse ainsi le facteur de 2,4 à 2,6 susmentionné, ce qui confirme que les valeurs de seuil obtenues d'après la courbe de Berek (figure 1) semblent relativement élevées et que la probabilité de perception des stimulis est toujours possible. Par ailleurs, la figure 5 montre une rétraction évidente des courbes lorsqu'on passe de la luminance scotopique à la luminance mésopique, ce qui est peut être dû à l'entrée en fonction des cônes. Cette réponse particulière n'apparaît pas dans les courbes de Berek, à cause de l'étalement des données sur lesquelles ces courbes sont basées. Le calcul des seuils à partir de l'équation 7 (tableau 1) basées sur les données de Blackwell donne donc des résultats plus précis reflétant les véritables réponses. Maintenant, l'écart de mes propres données observé dans la figure 1 n'est plus surprenant et on peut l'expliquer. La ligne en traits est calculée d'après les données observé dans la figure 1 n'est plus surprenant et on peut l'expliquer. La ligne en traits est calculée d'après les données de Blackwell avec $k = 3,1$.

Critical angle

At this point we may assume that a formula describing the threshold response so well should also reveal the critical angle which indicates the limits of the retinal area acting as a receptive unit over which summation takes place. Below the critical angle the threshold is following Ricco's law only.

In other words light perception is determined by the amount of the luminous flux absorbed in that particular summary area ($L \cdot \alpha^2 = \text{Const.}$) If writing the threshold in terms of the minimum illumination at the eye

$$E_{min} = \pi \cdot \sin \frac{2\alpha}{2} \cdot \Delta L \text{ lux} \qquad \text{(eq. 10)}$$

L in cd/m^2

α in radiants

the Ricco-range will be indicated by E_{min} = constant. If we plot E_{min} versus the angle α subtended by the object we obtain a graph as shown in figure 6. Ricco's law is reflected by the parts of the curves parallel to the abscissa. We recognize the well known fact that the critical angle this is the diameter of the retinal area of summation decreases with increasing luminance levels L_u.

The determination of α critical entails the necessity to adopt a defined increment from the parallel response. Let us state that the border of the validity of Ricco's law will be overstepped when the elevation of the curve is in the order of 10 per cent or 20 per cent. Calculating the critical angle α_c for these values we obtain curves as shown in figure 7. The cone to rod shift in the mesopic luminance range becomes obvious. The triangles in figure 7 are measurements by which reveals that his data for the critical angle coincide with a threshold elevation E_{min} of about 20 per cent.

Angle critique

Dès lors, nous pouvons supposer que la formule décrivant si bien la réponse du seuil doit aussi donner l'angle critique indiquant les limites de la surface rétinienne agissant comme unité réceptrice dans laquelle a lieu le processus de sommation. En dessous de l'angle critique, le seuil est gouverné par la loi de Ricco seulement.

En d'autres termes, la perception de la lumière est déterminée par la quantité de flux lumineux absorbé par cette surface particulière ($L \cdot \alpha^2 = \text{Const}$). Si l'on écrit le seuil en termes de l'éclairement minimal au niveau de l'oeil.

$$E_{min} = \pi \cdot \sin \frac{2\alpha}{2} \cdot \Delta L \text{ lux} \qquad \text{(éq. 10)}$$

L in cd/m^2

α in radiants

la gamme de Ricco correspond à E_{min} = constante. Si nous traçons E_{min} en fonction de l'angle α sous-tendu par l'objet, nous obtenons le graphique de la figure 6. Les sections des courbes parallèles à l'axe des abscisses obéissent à la loi de Ricco. Nous retrouvons le fait bien connu que l'angle critique (soit le diamètre de la surface rétinienne de sommation) diminue lorsque la luminance L_u augmente.

La détermination de l'angle critique α implique l'adoption d'un incrément donné à partir de la réponse parallèle. Disons que la limite de validité de la loi de Ricco sera franchie lorsque la pente de la courbe sera de l'ordre de 10 à 20 pour cent. Si nous calculons l'angle critique α_c pour ces valeurs, nous obtenons les courbes de la figure 7. Le passage des cônes aux bâtonnets dans la gamme de luminance mésopique devient évident. Les triangles de la figure 7 représentent les données de Blackwell associées à l'angle critique et et coïncident avec une pente seuil E_{min} d'environ 20 pour cent.

It may be of some theoretical interest to consider the actual dimension of the image on the retina at the critical angles. The anterior focus of the eye without accommodation proves to be

$$a = \frac{f}{\eta} = \frac{22.785}{1.336} = 17.02 \text{ mm}$$

The diameter d of the image arrives to be

$$d = \frac{f \cdot \alpha}{\eta} \quad \alpha \text{ in radiants.}$$

In that way the additional scale d on the abscissa in figure 7 indicating the diameter of the retinal image was established. Evidently the diameter of a single receptive foveal area in high luminance levels, - occurs to be of the order of about twice the diameter of a foveal cone. Recalling that this method yields a rough assessment only the results point into the direction that a one to one linkage between one receptor and its ganglion cell in the fovea seems to be evident.

The influence of the observation time

The derived equations allow to calculate the threshold increment $\Delta L = f(L_U, \alpha)$ for a rather long observation time. In Siedentopfs et al. and my own experiments the luminance of the target was raised slowly until the observer could perceive it. (method of adjustment) Blackwell, applying the forced choice method, presented the target for 15 seconds. Many visual tasks however demand considerably shorter times of observation and therefore it appeared desirable to include this influence into the calculating method.

L'examen des dimensions réelles de l'image sur la rétine aux angles critiques peut présenter un certain intérêt théorique. Le foyer antérieur de l'oeil sans accommodation se trouve à

$$a = \frac{f}{\eta} = \frac{22,785}{1,336} = 17,02 \text{ mm}$$

Le diamètre d de l'image est alors

$$d = \frac{f \cdot \alpha}{\eta} \quad \alpha \text{ in radiants.}$$

C'est de cette façon qu'a été établie l'échelle additionnelle d sur l'axe des abscisses, à la fig. 7, indiquant le diamètre de l'image sur la rétine. Manifestement, le diamètre d'une surface fovéale réceptrice unique à des niveaux élevées de luminance est environ le double du diamètre d'un cône fovéal. Si l'on se rappelle que cette méthode permet seulement une évaluation approximative, les résultats semblent mettre en évidence une relation biunivoque entre un récepteur et son ganglion dans la fovéa.

L'influence du temps d'observation

Les équations dérivées permettent de calculer l'incrément de seuil $\Delta L = f(L_U, \alpha)$ pour une période d'observation assez longue. Dans les expériences de Siedentophs et coll. et dans mes propres expériences, la luminance de la cible était augmentée lentement jusqu'à ce que l'observateur puisse la percevoir (méthode de l'ajustement). Blackwell, appliquant la méthode du choix forcé, présentait la cible pendant 15 secondes. De nombreuses tâches visuelles exigent cependant des temps d'observation considérablement plus courts. Il nous a donc paru souhaitable d'inclure ce facteur dans les calculs.

The relationship between the threshold illuminance E_S at the eye of point sources and its presentation time t can be written in terms of

$$E_S = E_{S\infty} \cdot \frac{\alpha + t}{t}$$

with $E_{S\infty}$ the threshold illuminance at unlimited presentation time $t \to \infty$.

Blondel and Rey first derived experimentally the constant a = 0.21 sec. (5)

From comprehensive data Schmidt-Clausen[5] established that α is also a function of the size of the target. These data hold for dark backgrounds $L_U \approx 0$ only, so that the dependency on the surround luminance $a = f(L_U)$ had to be derived from Blackwell's investigation (6) which was carried out for a 4' object (Figure 8). With these data we may derive a mathematical expression which allows to include the observation time into the calculation of ΔL

$$\Delta L_S = \Delta L_{S\infty}(\alpha) \frac{a(\alpha) + t}{t} \qquad \text{(eq. 11)}$$

where in $\Delta L_{S\infty}$ represents ΔL as in equation 7.

The term $(a(\alpha;L_U)+t)/t$ comprises the influence of time. With applying rational functions Enzmann[7] has developed approximations to compute a in the following way:

$$a(\alpha) = 0.36 - 0.0972 * \frac{(\log\alpha + 0.523)^2}{(\log\alpha + 0.523)^2 - 2.513(\log\alpha + 0.523) + 2.7895}$$

for small and relatively large sizes of the target a will be constant

$\alpha < 0.3$ min : $a(\alpha) = 0.36$ sec
$\alpha > 50$ min : $a(\alpha) = 0.136$ sec

La relation entre l'éclairement de seuil E_S d'une source ponctuelle, au niveau de l'oeil, et le temps de présentation t peut s'écrire:

$$E_S = E_{S\infty} \cdot \frac{\alpha + t}{t}$$

où $E_{S\infty}$ est l'éclairement de seuil pour un temps de présentation infini $t \to \infty$.

Blondel et Rey ont établi expérimentalement la valeur de la constance a = 0,21 sec.

Schmidt-Clausen[5] a établi à partir des données complètes que α est aussi une fonction de la grosseur de la cible. Ces données sont valables pour des fonds sombres seulement, $L_U \approx 0$, de telle sorte que la relation de dépendance vis à vis de la luminance environnante $a = f(L_U)$ a dû être obtenu à partir des expériences faites par Blackwell[6] avec un objet de 4' (Figure 8). Avec ces données, nous pouvons établir une expression mathématique incluant le temps d'observation dans le calcul de ΔL

$$\Delta L_S = \Delta L_{S\infty}(\alpha) \frac{a(\alpha) + t}{t} \qquad \text{(éq. 11)}$$

où $\Delta L_{S\infty}$ représente ΔL comme dans l'équation 7.

Le facteur temps est inclu dans le terme $(a(\alpha;L_U)+t)/t$. À partir de fonctions rationnelles, Enzmann[7] a établi les approximations suivantes de a:

$$a(\alpha) = 0{,}36 - 0{,}0972 * \frac{(\log\alpha + 0{,}523)^2}{(\log\alpha + 0{,}523)^2 - 2{,}513(\log\alpha + 0{,}523) + 2{,}7895}$$

pour des cibles de petite taille et de taille relativement grande, a sera constant

$\alpha < 0{,}3$ min : $a(\alpha) = 0{,}36$ sec
$\alpha > 50$ min : $a(\alpha) = 0{,}136$ sec

The dependency on the background luminance L_u can be calculated by the equation

$$a(L_u) = 0.355 - 0.1217 * \frac{(\log L_u + 6.0)^2}{(\log L_u + 6.0)^2 - 10.4(\log L_u + 6.0) + 52.28}$$

In the extremes of the range for L_u as follows a is found to be:

$L_u < 0.000001$ cd/m^2 : $a(L_u) = 0.355$ sec

$L_u > 10{,}000$ cd/m^2 : $a(L_u) = 0.1$ sec

the best approximation to calculate $a(\alpha, L_u)$ can be achieved by geometrical summation:

$$a(\alpha, L_u) = \sqrt{a(\alpha)^2 + a(L_u)^2} / 2.1$$

With this equation we obtain as an example a factor of 2.6 between the threshold values of a 4' object at L_u in the range of 1 - 3 cd/m^2 when reducing the observation time from 1 sec to 0.1 sec. For a 10' object this factor will be 2.2.

In summary the formula to calculate luminance difference thresholds as a function of the background luminance, object size, and observation time reads:

$$\Delta L_S(\alpha; L_u; t) = 3.1 * (\sqrt{\emptyset}/\alpha + \sqrt{L})^2 * ((\alpha + t)/t)$$

with L_S cd/m

α minutes

$\sqrt{\emptyset}$, $\sqrt{L}$ as described on page 4

t observation time in sec.

La dépendance vis à vis de la luminance de fond L_u peut être calculée à partir de

$$a(L_u) = 0{,}355 - 0{,}1217 * \frac{(\log L_u + 6{,}0)^2}{(\log L_u + 6{,}0)^2 - 10{,}4(\log L_u + 6{,}0) + 52{,}28}$$

Aux extrémités de la gamme, nous avons pour a

$L_u < 0{,}000001$ cd/m^2 : $a(L_u) = 0{,}355$ sec

$L_u > 10\,000$ cd/m^2 : $a(L_u) = 0{,}1$ sec

La meilleure approximation pour calculer $a(\alpha, L_u)$ est donnée par l'expression

$$a(\alpha, L_u) = \sqrt{a(\alpha)^2 + a(L_u)^2} / 2{,}1$$

Avec cette équation, nous obtenons par exemple un facteur de 2,6 entre les valeurs de seuil, pour un objet de 4' avec L_u dans la gamme 1 - 3 cd/m^2, lorsqu'on réduit le temps d'observation de 1 s à 0,1 s. Pour un objet de 10', ce facteur sera de 2,2.

En résumé, la formule permettant de calculer les seuils différentiels de luminance en fonction de la taille de l'objet, de la luminance de fond et du temps d'observation est la suivante:

$$\Delta L_S(\alpha; L_u; t) = 3{,}1 * (\sqrt{\emptyset}/\alpha + \sqrt{L})^2 * ((\alpha + t)/t)$$

avec L_S cd/m

α minutes

$\sqrt{\emptyset}$, $\sqrt{L}$ voir page 4

t temps d'observation en s.

Influence of age

The experimental data, on which the calculation method was based, were obtained from observers ranging between 25 and 35 years of age. It is known, however, that the ocular media change with age in their spectral and total transmittance. This is to occur in the cornea and especially in the lens, which show to yellow with age accompanied by an overall decrease in transmission. This effect entails that the threshold increases with age which is shown in Figure 9 and reveals that for example an observer of 70 years of age need 3 times the threshold value of the base group for perception. This influence has to be considered in the calculation of ΔL accordingly.

Abstract

From Blackwell's data on the contrast thresholds for incandescent light and positive contrast a formula was derived providing easy calculation of this basic visual function. The experimental findings are valid for 50 per cent probability of perception. To convert them to about 100 per cent a factor ranging up to 2.4 has to be applied. These findings are compared to those of a number of German investigators involved in the formula of Berek established in 1943. For best coincidence of these two sets of curves it turned out that those derived from Blackwell's data valid from 50 per cent had to be multiplied by 3.1 thus indicating that the perception of the stimuli after Berek was always possible. Finally, the critical angle α_c following out of the equation established was considered. α_c limits the area acting as a single receptive unit for which Ricco's law holds. When expressed in terms of the dimension of the retinal image it appears that in high adaptation levels this diameter can achieve the order of a single foveal cone. This may count for a possible neuronal one to one connection from receptor to a single ganglion.

Influence de l'âge

Les données expérimentales ayant servir à l'établissement de la méthode de calcul ont été obtenues d'observateurs âgés de 25 à 30 ans. On sait cependant que la réponse spectrale et le facteur de transmission global de l'oeil changent avec l'âge, notamment en raison de l'altération de la cornée et surtout du cristallin qui jaunit et transmet moins bien la lumière. C'est ce qui explique que le seuil augmente avec l'âge, comme il est montré sur la figure 9 qui indique qu'à 70 ans, il faut tripler la valeur de base du seuil. Il faut en conséquence tenir compte de l'influence de l'âge dans le calcul de ΔL.

Résumé

On a établi une formule permettant de calculer facilement les seuils de contraste à partir des données de Blackwell relatives aux seuils de contraste pour un contraste positif et pour des lumières incandescentes. Les résultats expérimentaux sont valides pour une probabilité de perception de 50 pour cent. Pour les convertir en une probabilité d'environ 100 pour cent, il faut introduire un facteur allant jusqu'à 2,4. Ces résultats sont comparés à ceux des cherchers allemands qui sont associés à la formule de Berek établie en 1943. Il est apparu que, pour obtenir une meilleure coïncidence entre les deux ensembles de courbes, il faut multiplier les données de Blackwell valides pour une probabilité de 50 pour cent par 3,1 ce qui indique que la perception des stimuli d'après Berek est toujours possible. Enfin, on a considéré l'angle critique α_c correspondant à l'équation établie. L'angle α_c limite la surface jouant un rôle d'unité réceptrice unique pour laquelle la loi de Ricco s'applique. Lorsqu'on l'exprime en termes de la dimension de l'image rétinienne, il apparaît qu'aux niveaux d'adaptation élevés ce diamètre peut être de l'ordre de la dimension d'un seul cône fovéal. Cela semble indiquer une connexion neuronique biunivoque entre le récepteur et un ganglion unique.

The calculation of ΔL was extended to include the observation time of the object. This allows for computation of the observation time of the contrast threshold.

Le temps d'observation de l'objet a été introduit dans le calcul de ΔL. Cela permet de calculer le temps d'observation du seuil de contraste.

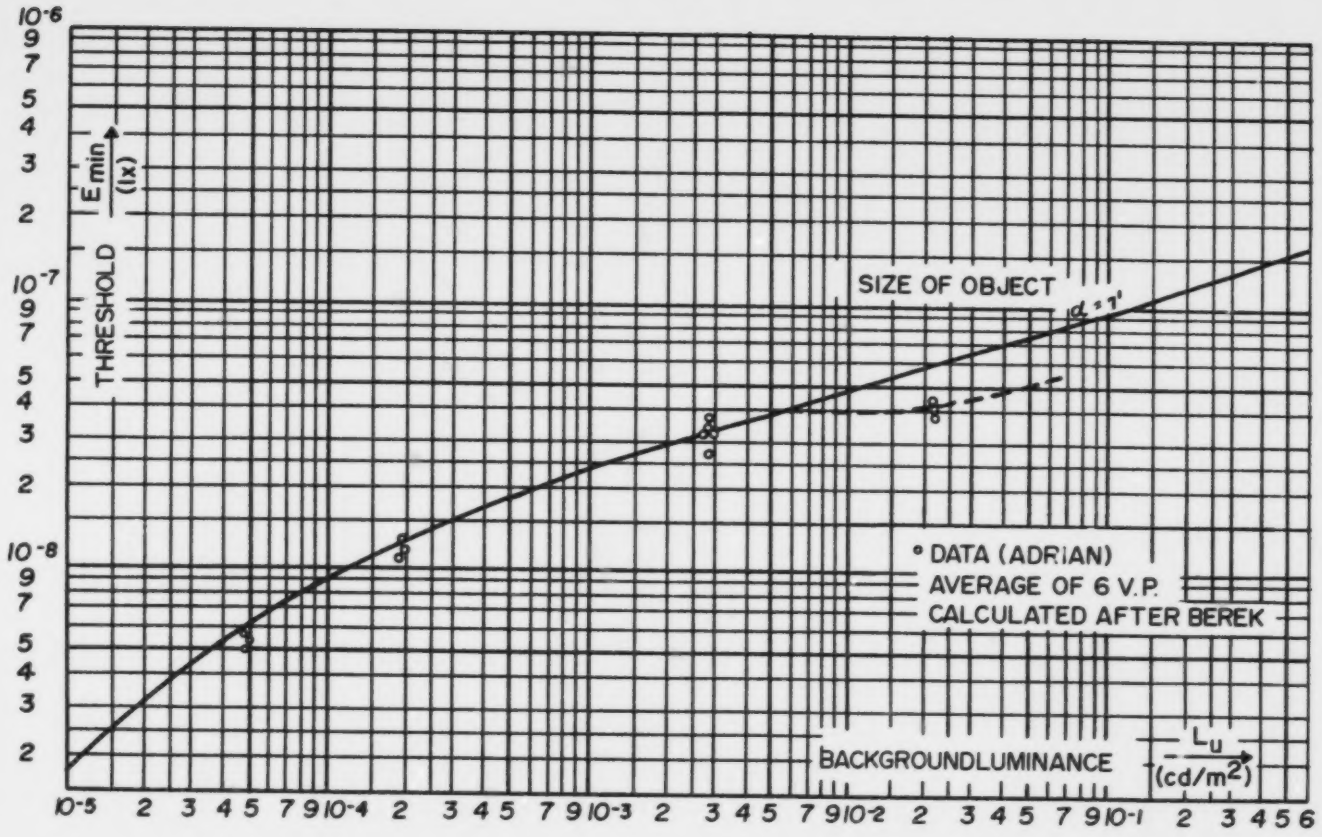


FIGURE I

Minimal illumination at the eye to perceive easily a 1' test object. The solid curve is calculated after Berek, the dashed part after equation 7. (Table I) based on Blackwells data with k = 3.1. The circles mark average readings of the author. (see text)

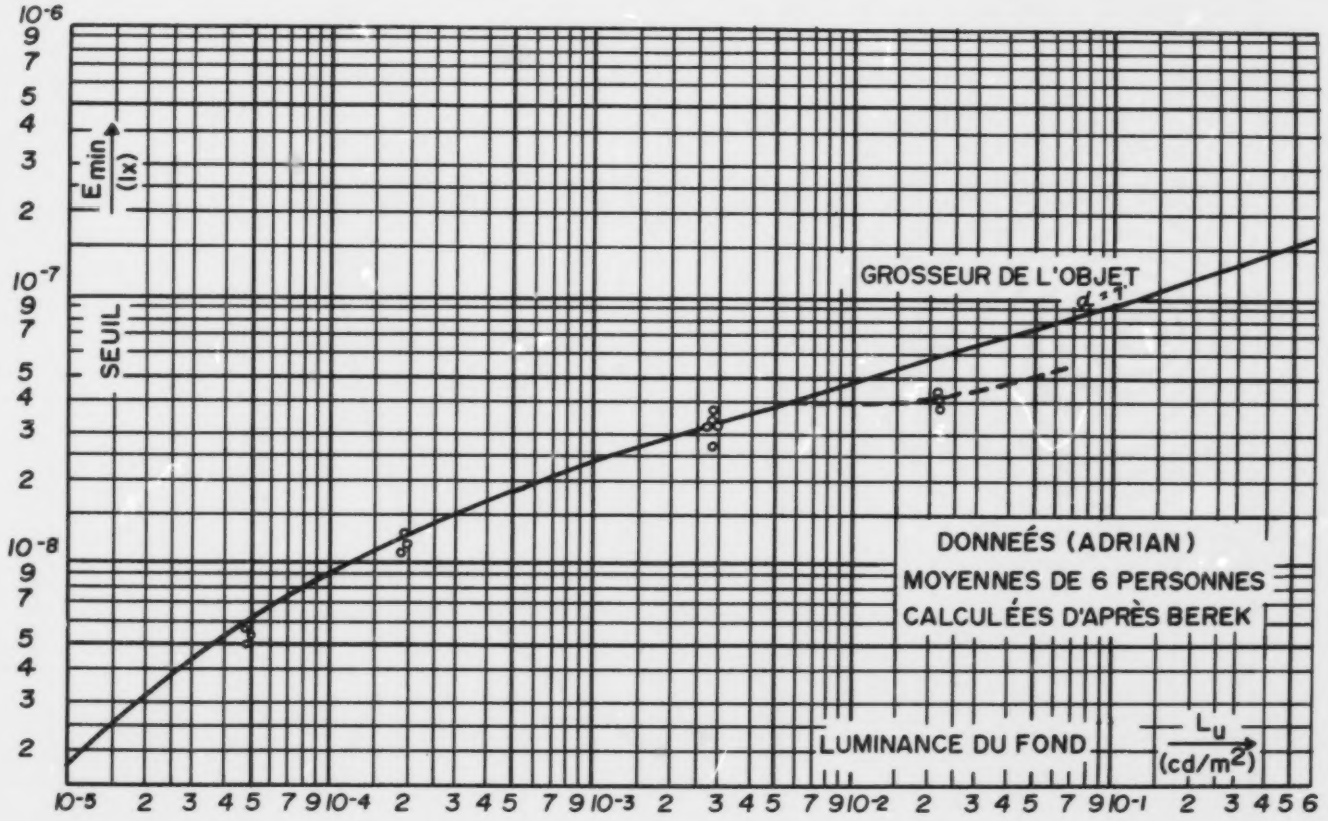


FIGURE I

Éclairement minimal au niveau de l'oeil pour percevoir facilement un objet d'essai de 1'. La courbe pleine a été obtenue d'après Berek, la courbe en traits d'après l'équation 7 (tableau I) basée sur les données de Blackwell avec k = 3,1. Les cercles indiquent les lectures moyennes de l'auteur. (voir texte)

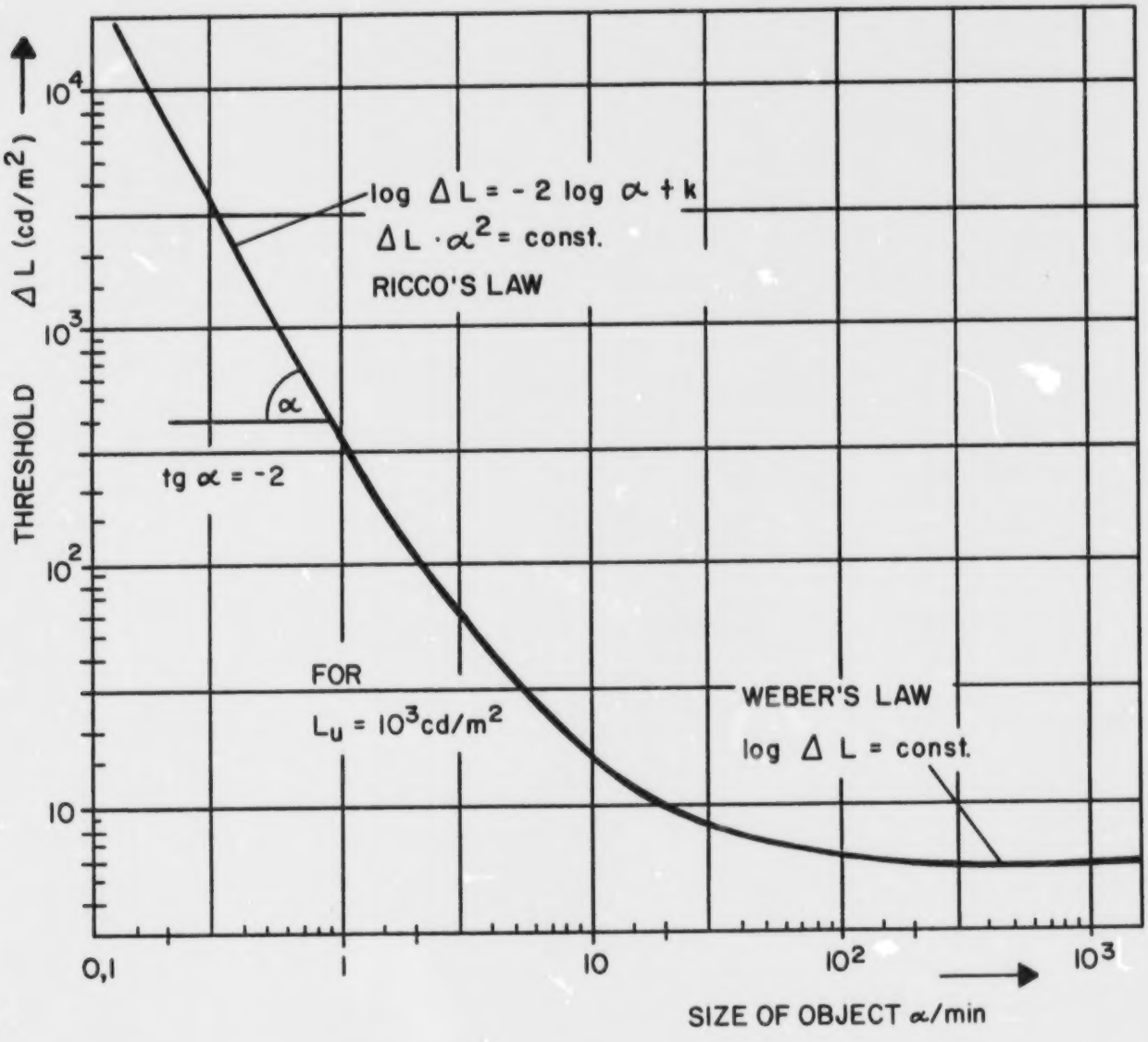


FIGURE 2

Example of the luminance difference threshold response to explain the mathematical procedure of establishing the formula.

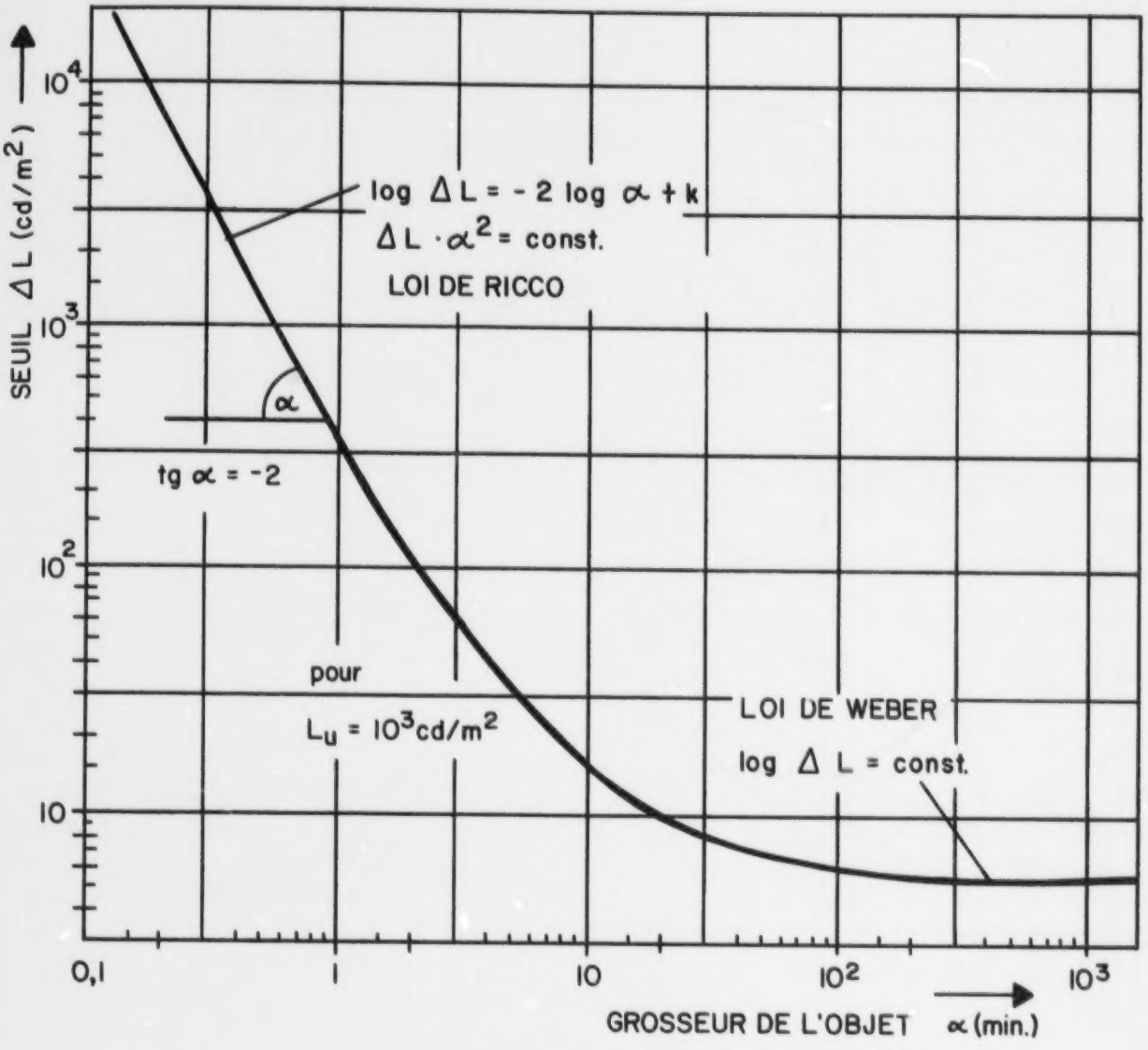


FIGURE 2

Exemple de seuil différentiel de luminance expliquant la démarche mathématique adoptée pour l'établissement de la formule.

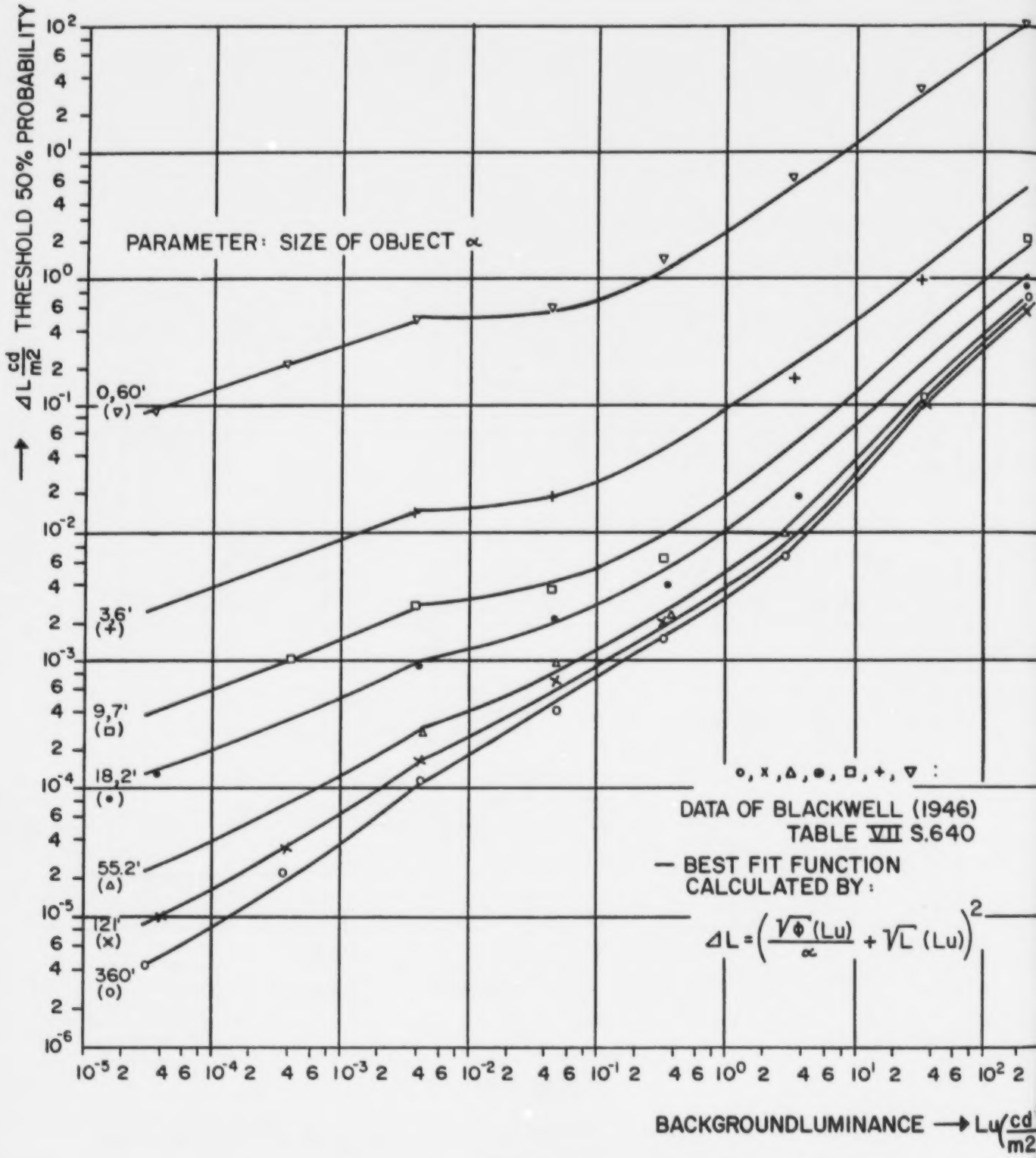


FIGURE 3

Computed luminance difference thresholds according to equation 7 and the original Blackwell data which the equation was derived from.

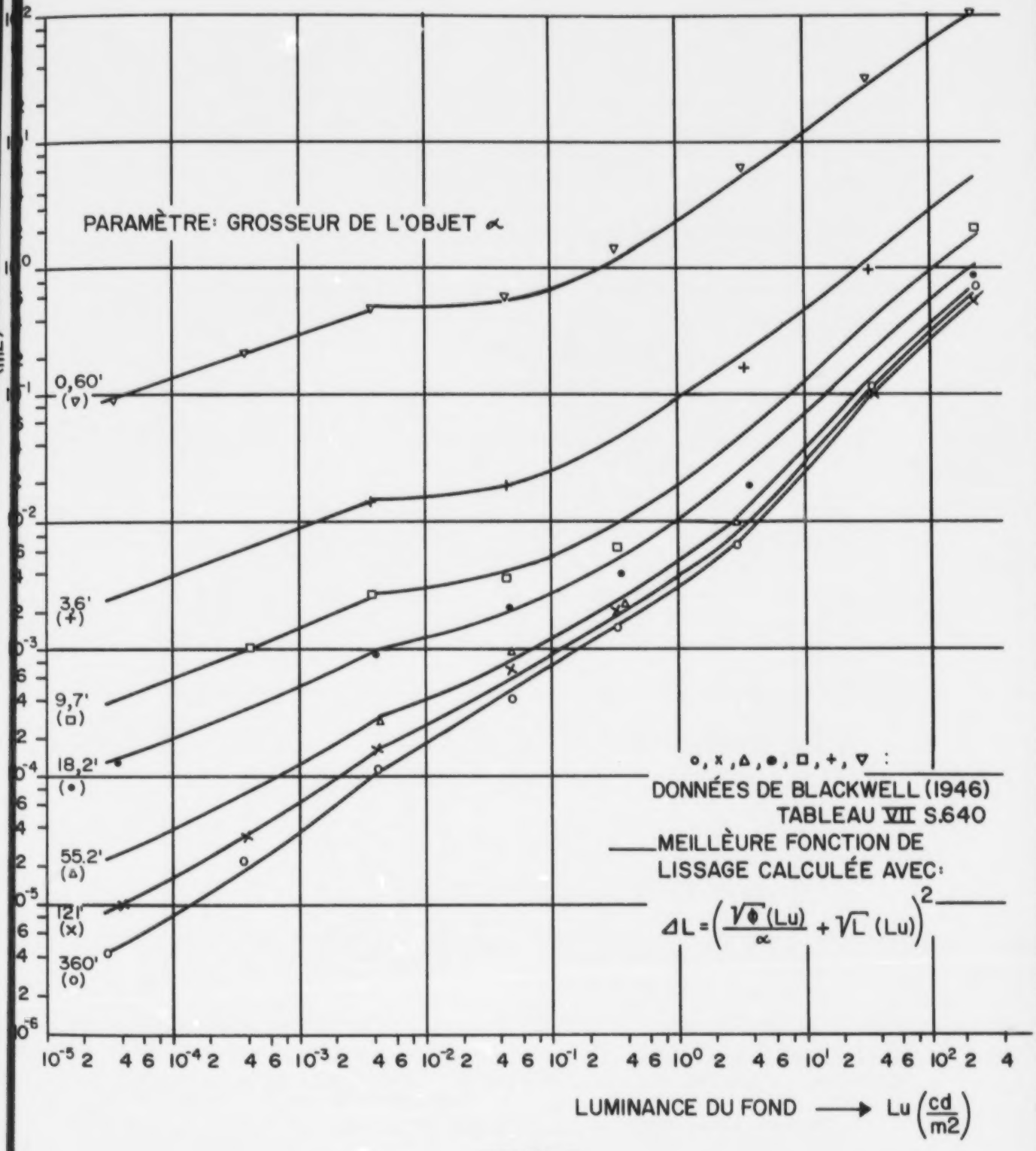


FIGURE 3

Seuils différentiels de luminance calculés à partir de l'équation 7 et données originales de Blackwell à partir desquelles l'équation a été obtenue.

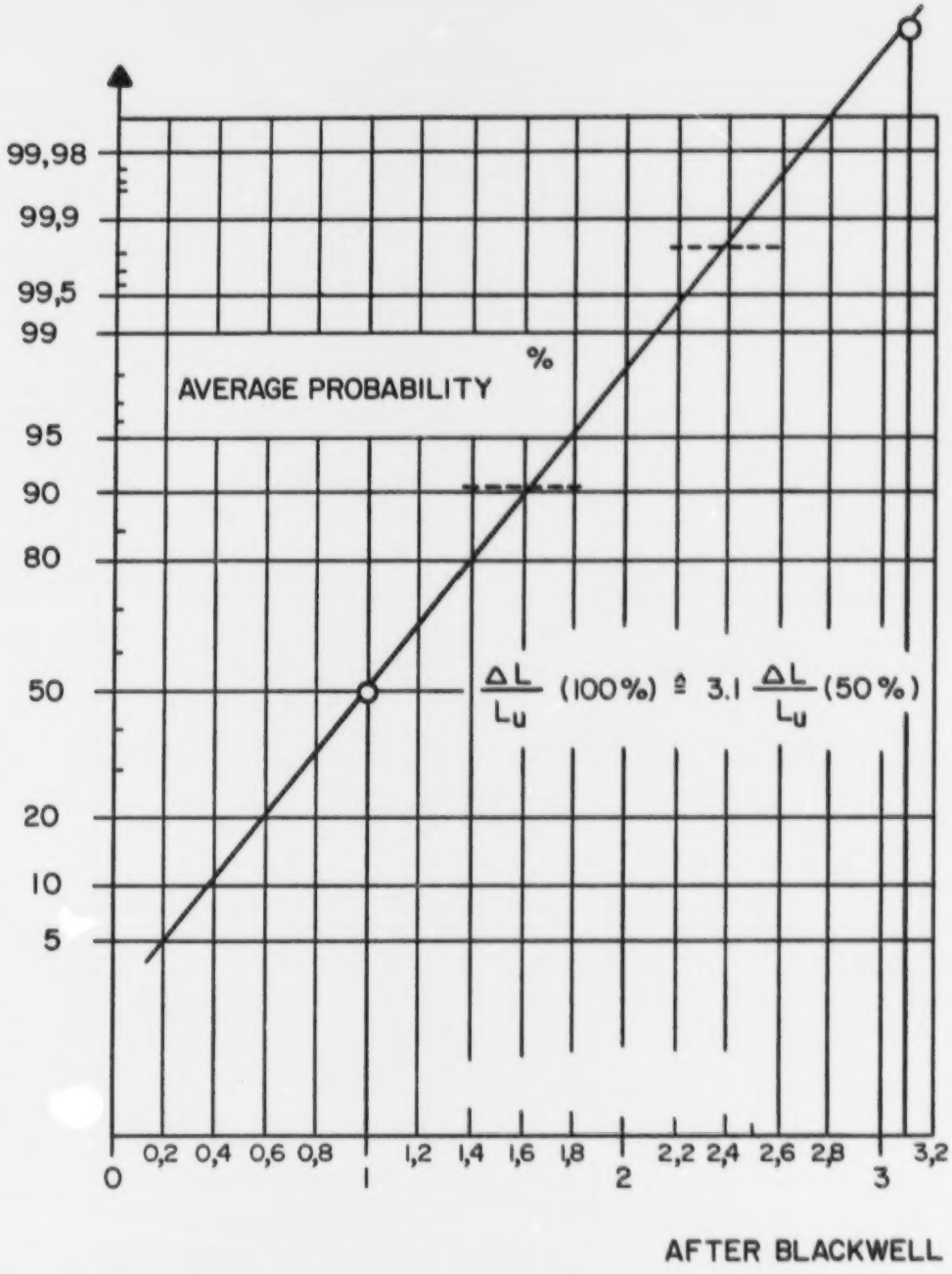


FIGURE 4

Redrawn figure published by Blackwell on the relation between frequency of seeing and the relative contrast. It is to question if this function should not depend on the luminance level.

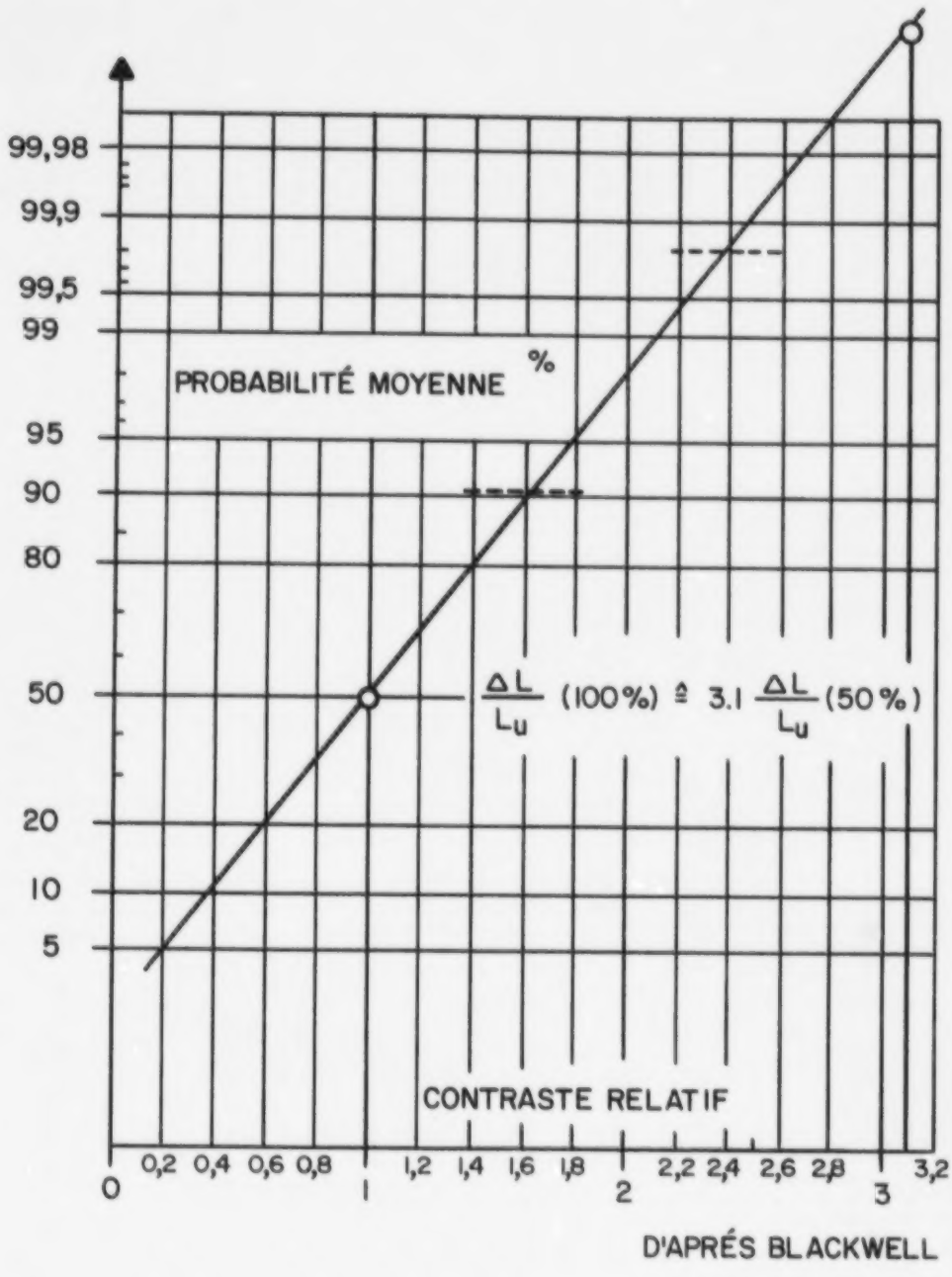


FIGURE 4

Nouvelle figure publiée par Blackwell montrant la relation entre la fréquence de vision et le contraste relatif. On se demande si cette fonction ne devrait pas dépendre du niveau de luminance.

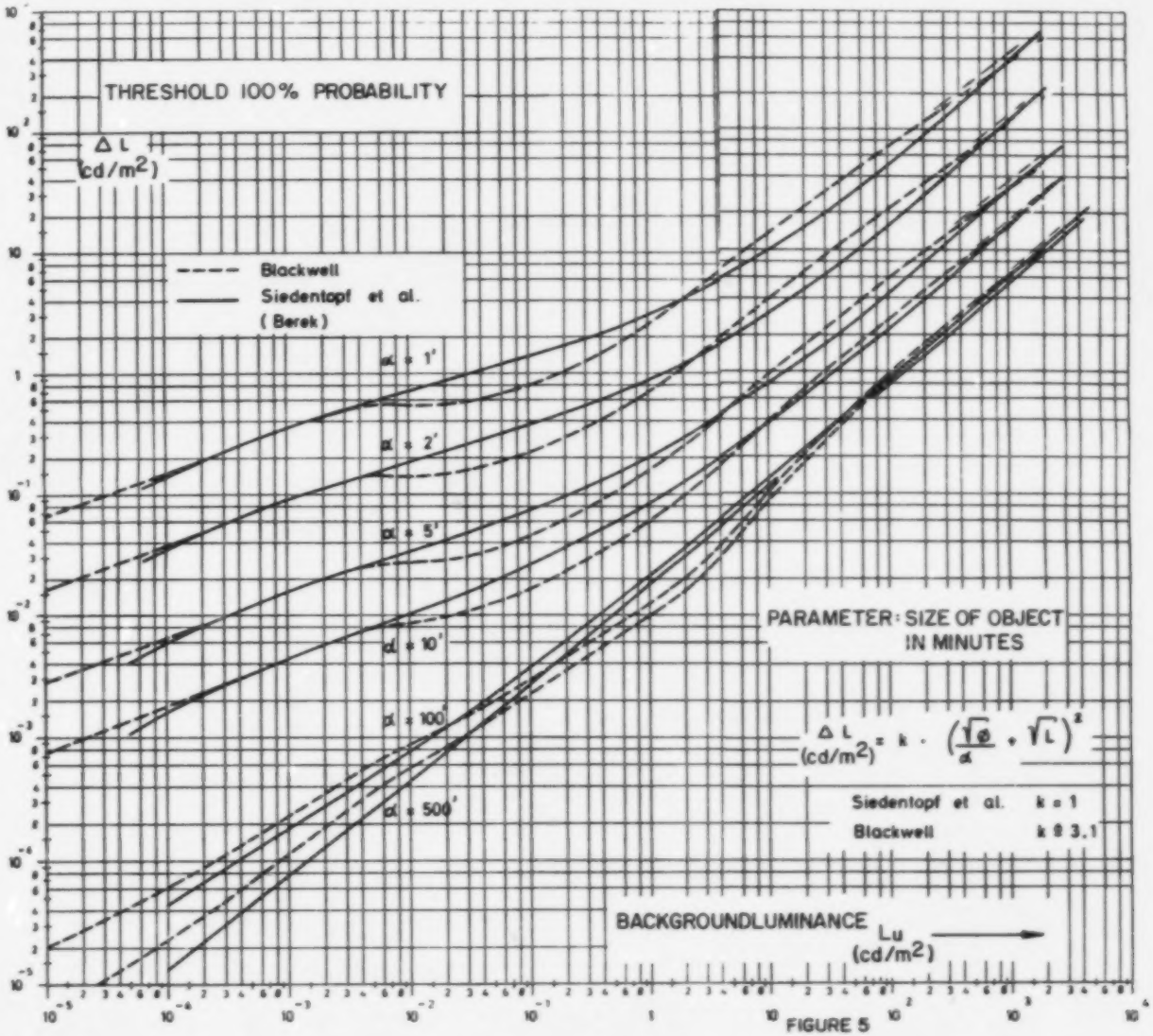


FIGURE 5

Comparison of the Berek-function (solid lines ≙ 100 per cent probability of seeing) and those derived from the Blackwell datas using a constant k = 3.1.

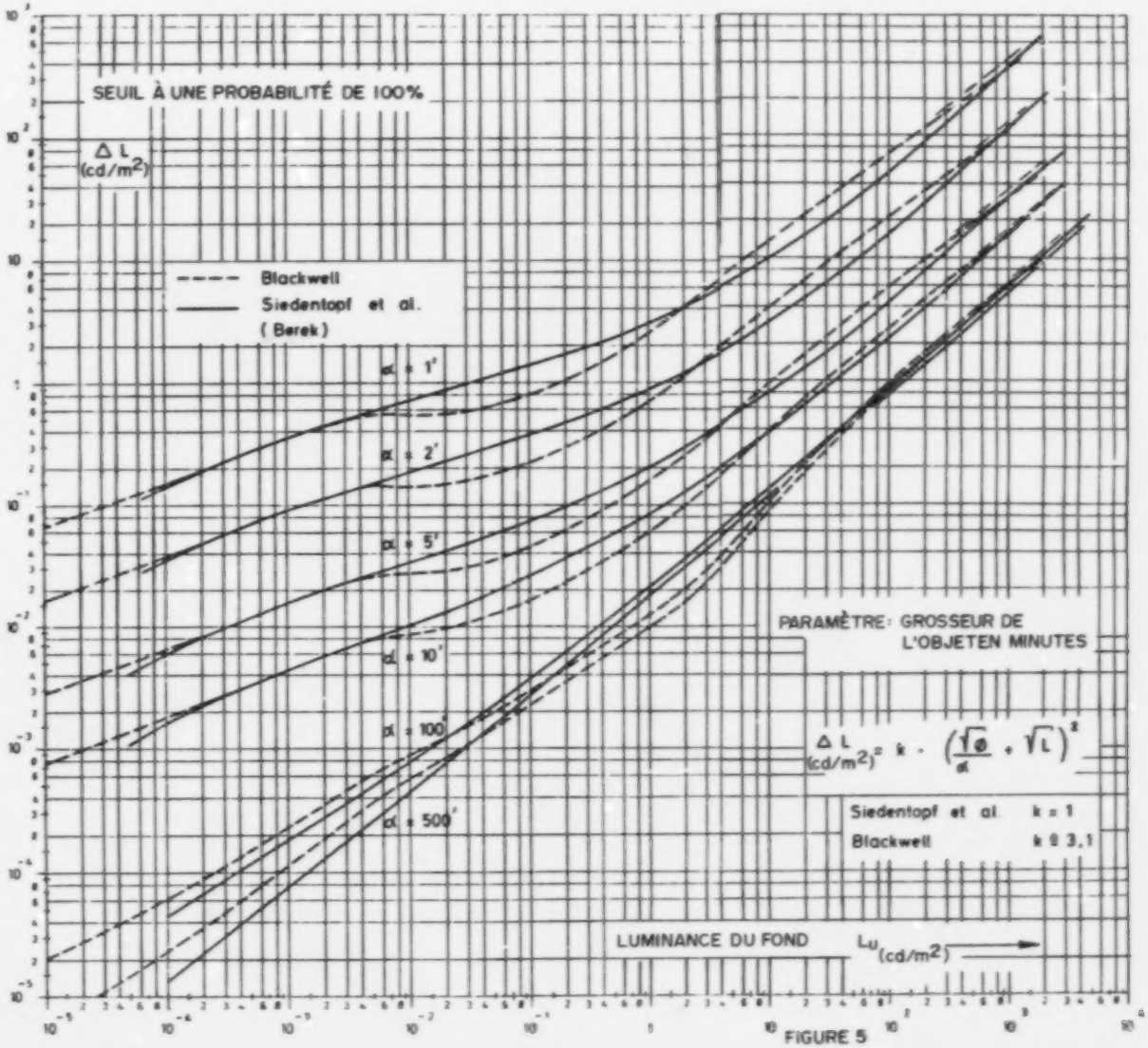


FIGURE 5

Comparaison de la fonction de Berek (lignes pleines; probabilité de vision ✓ 100 pour cent) et de la fonction obtenue à partir des pleines de Blackwell avec une constante k = 3,1.

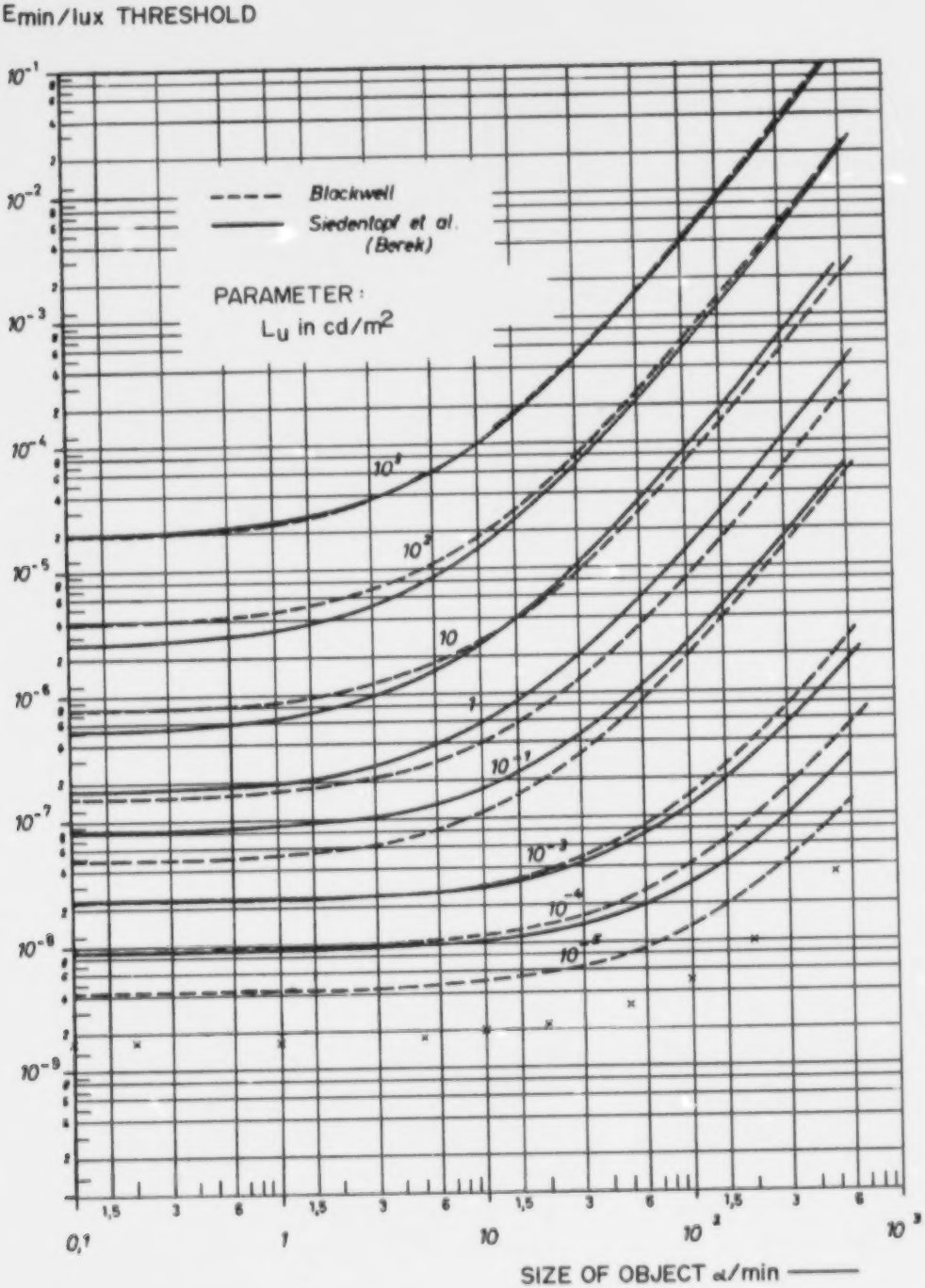


FIGURE 6

Thresholds in terms of E_{min} calculated by using equation 10. For computation of ΔL, k = 3.1 was applied.

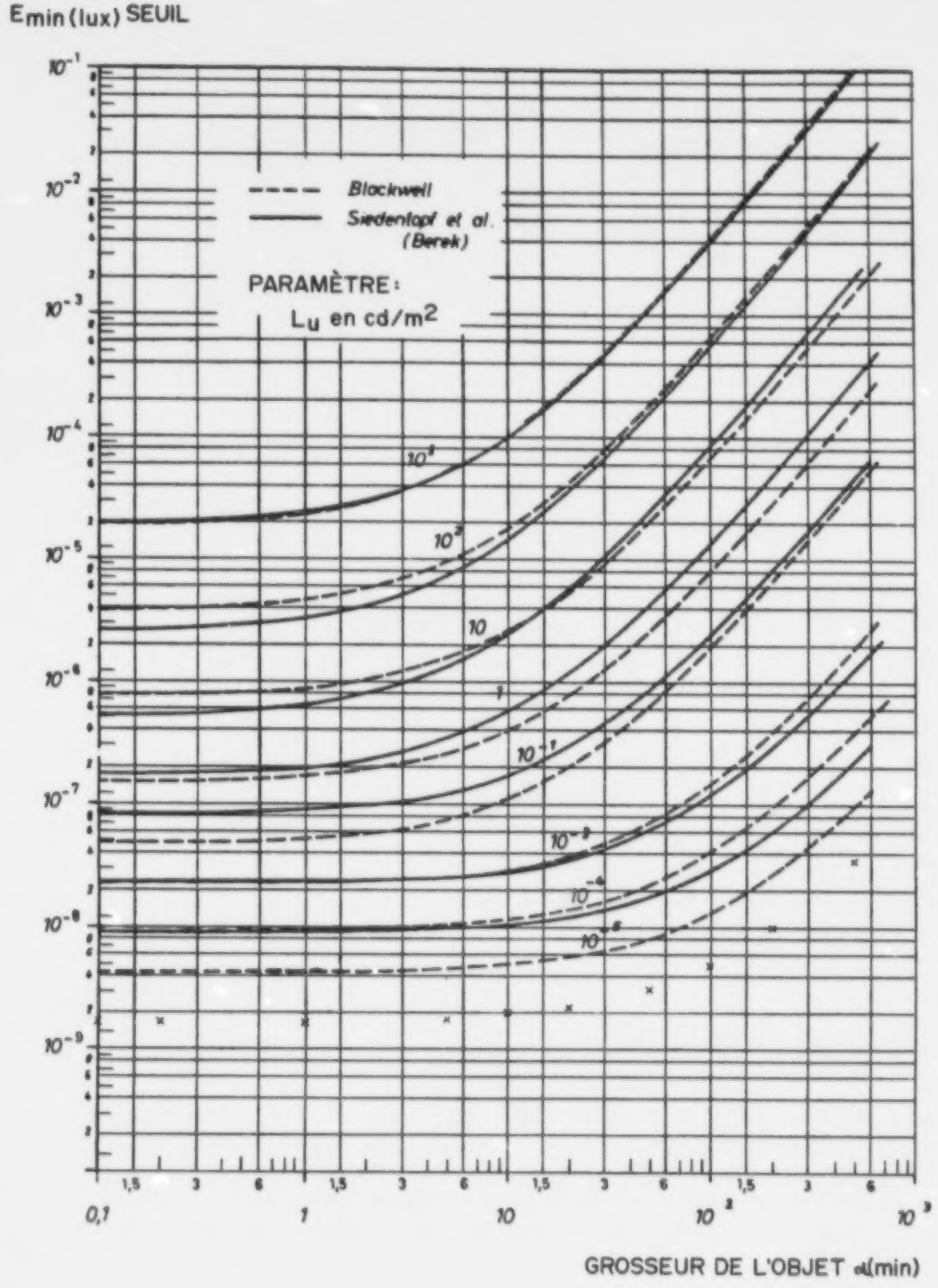


FIGURE 6

Seuils en fonction de E_{min} calculés à partir de l'équation 10. Pour le calcul de ΔL, on a pris k = 3,1.

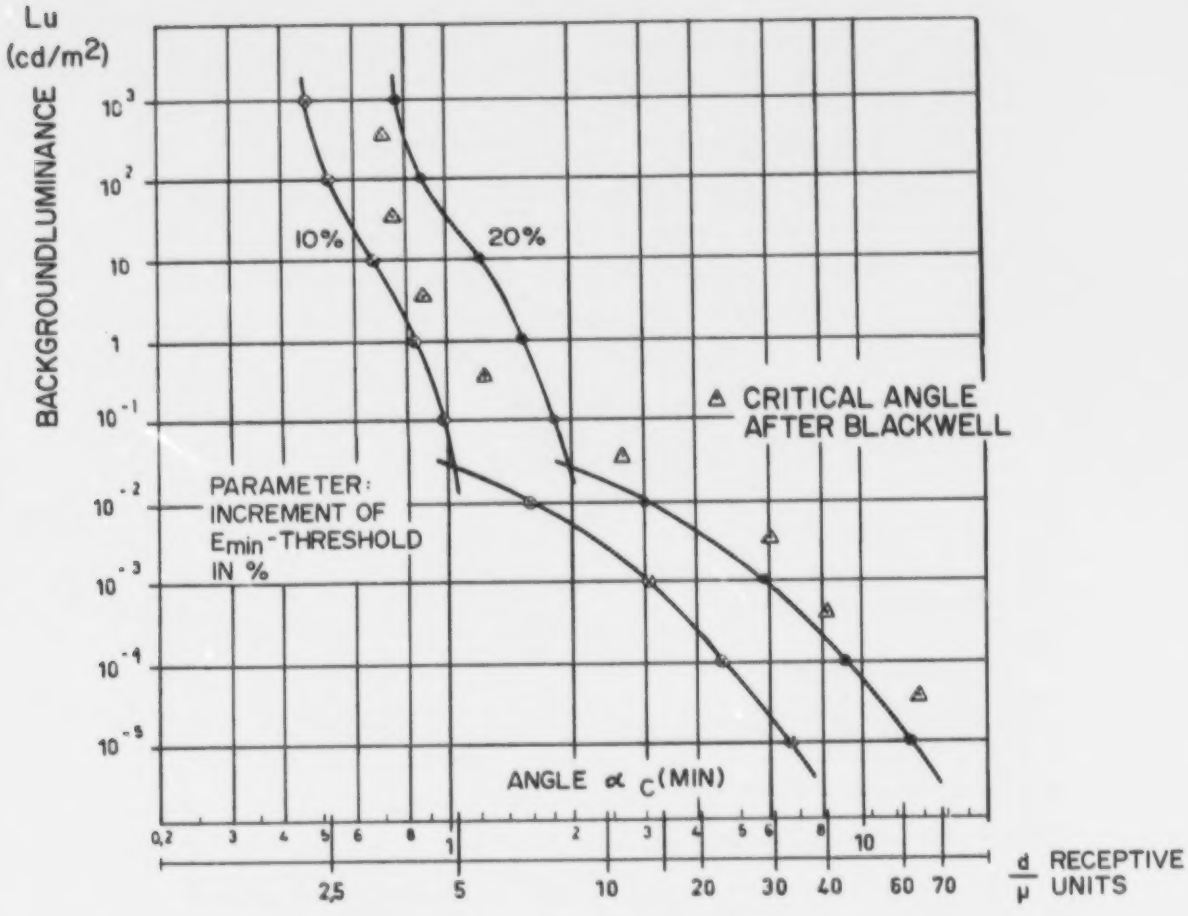


FIGURE 7

Calculated critical angle α_c for two different threshold evaluations. The values marked by triangles were taken from a curve presented by Blackwell. On the additional scale under the abscissa the retinal dimentions corresponding to α_c is indicated.

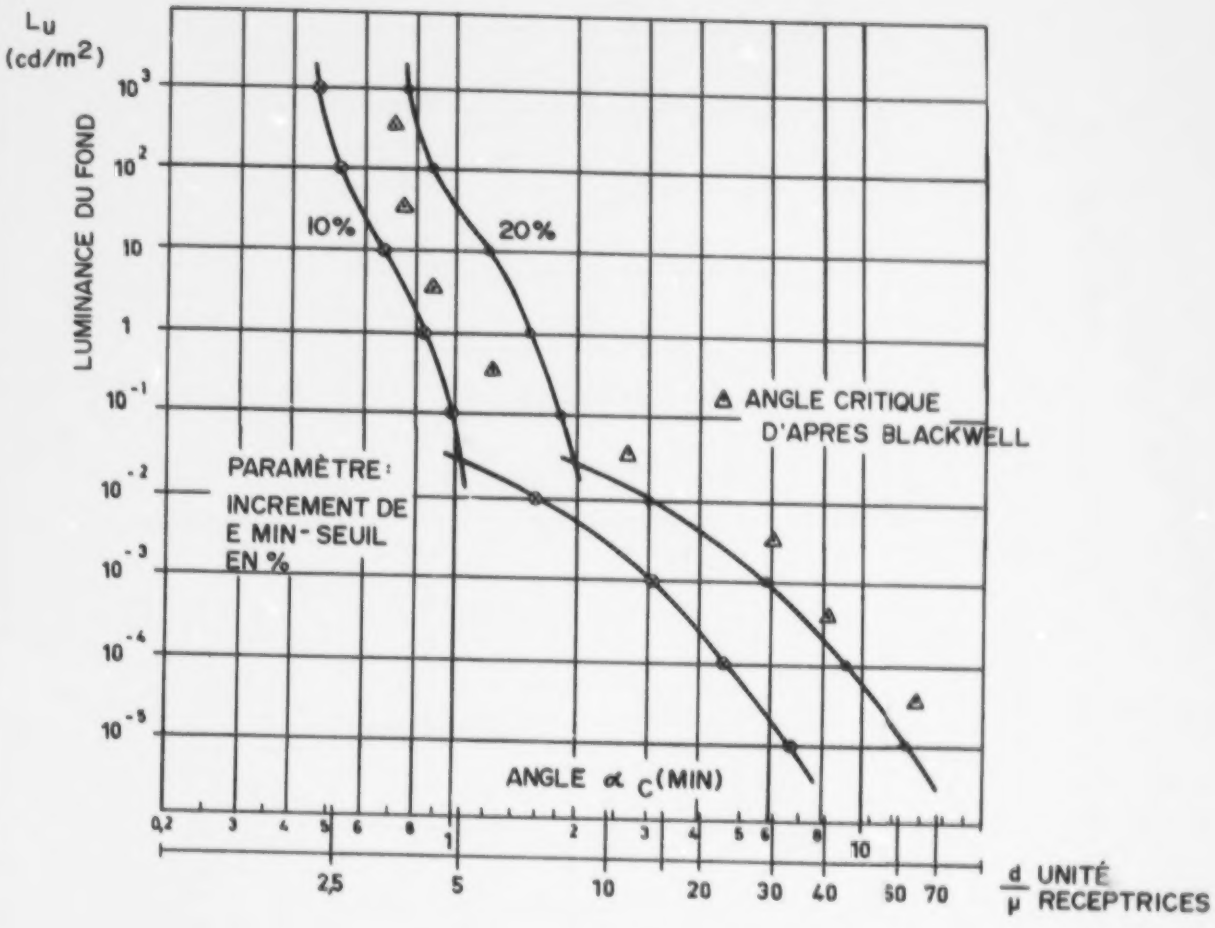


FIGURE 7

Angle critique α_c calculé pour deux différentes pentes des courbes de seuil. Les valeurs indiquées par des triangles sont tirées d'un graphique présenté par Blackwell. Les dimensions rétiniennes correspondant à α_c sont indiquées sur l'échelle additionnelle placée sous l'axe de abscisses.

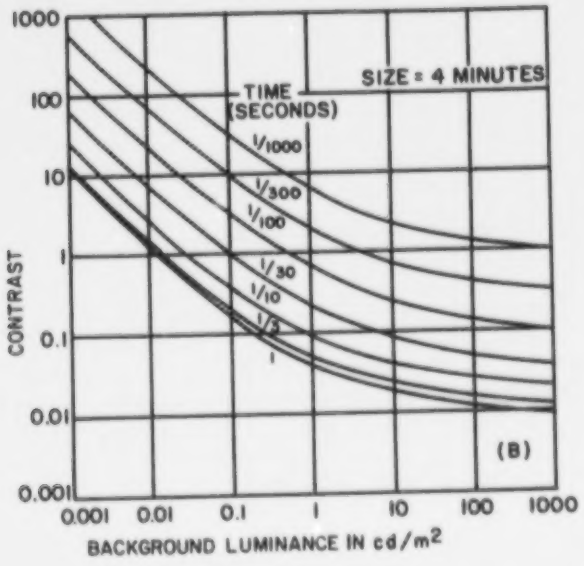


FIGURE 8

Contrast thresholds versus background luminance for various observation time. After Blackwell valid for a 4' object.

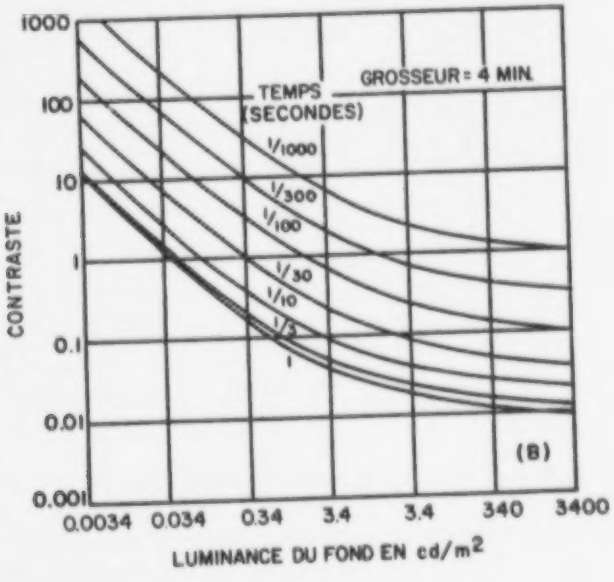


FIGURE 8

Seuils de contraste en fonction de la luminance du fond pour différents temps d'observation. D'après Blackwell, pour un objet de 4'.

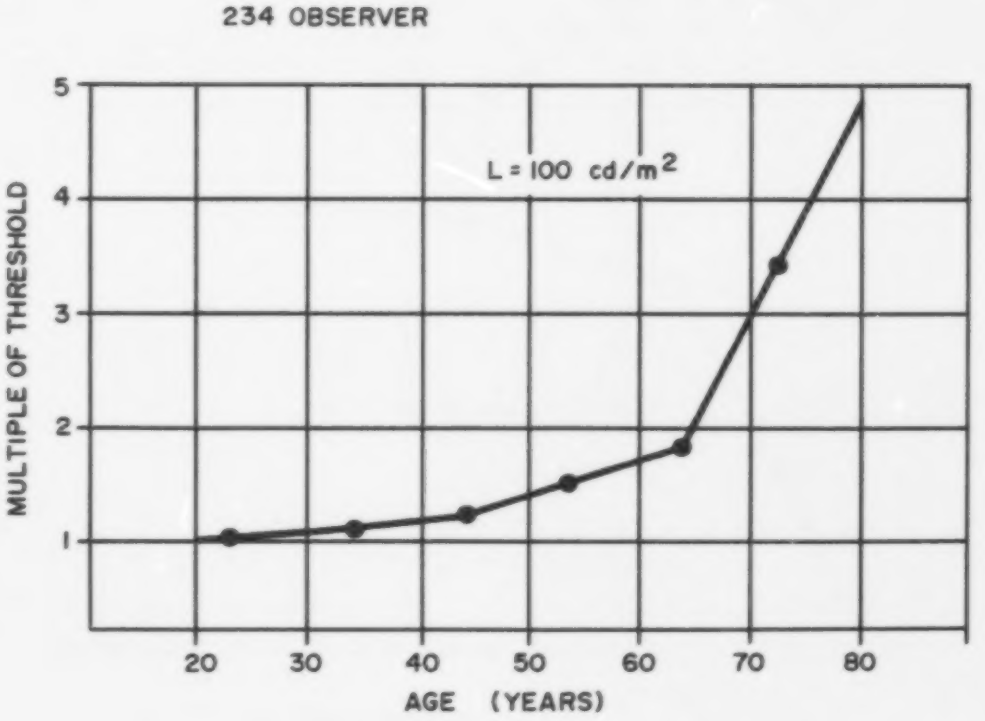


FIGURE 9

Multiple of the threshold contrast required for observer of higher age in relation to the base groupe with an average of 23 years.

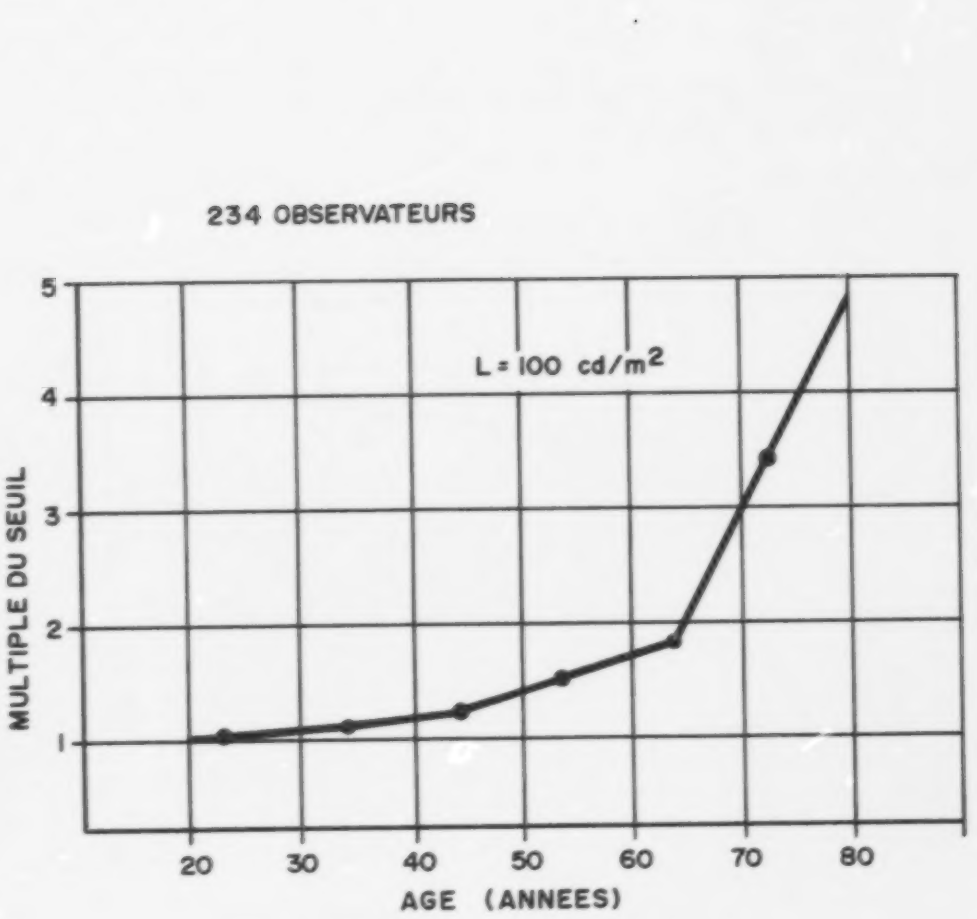


FIGURE 9

Multiple du contraste de seuil pour un observateur âgé, relatif à la valeur de base pour un groupe d'observateurs de 23 ans.

Background luminance/ Luminance du fond	After Blackwell-Adrian/ d'après Blackwell-Adrian		after Berek/ d'après Berek	
$\frac{L_u}{cd/m^2}$	ϕ	L	ϕ	L
10^{-5}	0.145_5	$1.09 \cdot 10^{-3}$	0,161*	$1,114 \cdot 10^{-2}$*
$2 \cdot 10^{-5}$	0.164	$1.35 \cdot 10^{-3}$	0,224*	$0,151 \cdot 10^{-2}$*
$5 \cdot 10^{-5}$	0.192_3	$1.82 \cdot 10^{-3}$	0,308*	$0,220 \cdot 10^{-2}$*
10^{-4}	0.217	$2.30 \cdot 10^{-3}$	0,371	$0,293 \cdot 1-^{-2}$
$2 \cdot 10^{-4}$	0.224	$2.94 \cdot 10^{-3}$	0,436	$0,390 \cdot 10^{-2}$
$5 \cdot 10^{-4}$	0.286	$4.12 \cdot 10^{-3}$	0,521	$0,569 \cdot 10^{-2}$
10^{-3}	0.323	$5.38 \cdot 10^{-3}$	0,587	$0,758 \cdot 10^{-2}$
$2 \cdot 10^{-3}$	0.364	$7.09 \cdot 10^{-3}$	0,655	$0,101 \cdot 10^{-1}$
$5 \cdot 10^{-2}$	0.408	$1.023 \cdot 10^{-2}$	0,748	$0,147 \cdot 10^{-1}$
10^{-2}	0.398	$1.276 \cdot 10^{-2}$	0,822	$0,196 \cdot 10^{-1}$
$2 \cdot 10^{-2}$	0.403	$1.592 \cdot 10^{-2}$	0,901	$0,260 \cdot 10^{-1}$
$5 \cdot 10^{-2}$	0.432	$2.133 \cdot 10^{-2}$	1,02	$0,380 \cdot 10^{-1}$
0.1	0.476	$2.661 \cdot 10^{-2}$	1,12	$0,505 \cdot 10^{-1}$
0.2	0.543	$3.319 \cdot 10^{-2}$	1,23	$0,672 \cdot 10^{-1}$
0.5	0.683	$4.446 \cdot 10^{-2}$	1,43	$0,980 \cdot 10^{-1}$
1	0.791	$0.593 \cdot 10^{-1}$	1,62	0,130
2	0.922	$0.820 \cdot 10^{-1}$	1,86	0,174
5	1.164	0.126	2,31	0,253
10	1.428	0.174	2,79	0,337
20	1.801	0.240	3,45	0,448
50	2.558	0.367	4,73	0,654
10^2	3.444	0.507	6,18	0,870
$2 \cdot 10^2$	4.750	0.701	8,22	1,16
$5 \cdot 10^2$	7.496	1.074	12,3	1,69
10^3	10.781	1.484	16,9	2,25

* Extrapolation

$\frac{\Delta L}{cd/m^2} = K \cdot \left(\frac{\phi}{\alpha} + L\right)^2$ α in Minutes $\frac{\Delta L}{cd/m^2} = K \cdot \left(\frac{\phi}{\alpha} + L\right)^2$ α en minutes

		Probability of Seeing/ Probabilité de vision
Berek	K = 1	100%
Blackwell-Adrian	k = 1	50%
Blackwell-Adrian	k = 3,1*	100%

* For best fit with Berek's curves

* Pour le meilleur lisage avec les courbes de Berek

Table I
Computation of the luminance difference threshold

Tableau I
Calcul du seuil différentiel de luminance

BIBLIOGRAPHY

1. Berek, M.
   Zum physiologischen Grundgesetz der Wahrnehmung von Lichtreisen. Zeitschr. f. Instrumentenkunde 63 (1943) p. 297 (in German)

2. Smith-Kinney, I.A.
   Calculated effect of the colour temperature of the stimulus on scotopic thresholds
   Journ. Opt. Soc. Am. 46 (1956) p. 1093

3. Adrian, W.
   Uber die Sehschwelle bei der Wahrnehmung von Leuchtfeuern
   Lichttechnik 15 (1963) p. 115 (in German) in English see:

Experimental studies on the reliability of the visual threshold for the calculation of luminous intensities of light signals.

   Sixth international technical Conference on lighthouses and other aids to navigation. U.S. Coast Guard Washington 25 D.C.
   26. September 1960 Report 5-4-4

4. Blackwell, H.R.
   Contrast thresholds of the human eye.
   Journ. Opt. Soc. Am.
   36 (1946) p. 640

5. Schmidt-Clausen, H.J.
   Uber das Wahrnehmen verschiedenartiger Lichtimpulse bei veranderlichen Umfeldleuchtdichten.
   Lichttechnik 21 11/1969 S 126A

6. Blackwell, H.R.
   Lighting Handbook IES
   Ed. 4 1966 Light and vision S. 2-8

7. Enzmann, J.
   Uber die Sichtbarkeit von Objekten bei der Beleuchtung von Straßen.
   Thesis university of Karlsruhe Dec. 1977 p. 14-22

BIBLIOGRAPHIE

1. Berek, M.
   Zum physiologischen Grundgesetz der Wahrnehmung von Lichtreisen. Zeitschr. f. Instrumentenkunde 63 (1943) p. 297 (in German)

2. Smith-Kinney, I.A.
   Calculated effect of the colour temperature of the stimulus on scotopic thresholds
   Journ. Opt. Soc. Am. 46 (1956) p. 1093

3. Adrian, W.
   Uber die Sehschwelle bei der Wahrnehmung von Leuchtfeuern
   Lichttechnik 15 (1963) p. 115 (in German) in English see:

Études expérimentales sur la fiabilité de l'emploi du seuil visuel dans le calcul des intensités lumineuses de signaux lumineux.

   Sixth international technical Conference on lighthouses and other aids to navigation. U.S. Coast Guard Washington 25 D.C.
   26. September 1960 Report 5-4-4

4. Blackwell, H.R.
   Contrast thresholds of the human eye.
   Journ. Opt. Soc. Am.
   36 (1946) p. 640

5. Schmidt-Clausen, H.J.
   Uber das Wahrnehmen verschiedenartiger Lichtimpulse bei veranderlichen Umfeldleuchtdichten.
   Lichttechnik 21 11/1969 S 126A

6. Blackwell, H.R.
   Lighting Handbook IES
   Ed. 4 1966 Light and vision S. 2-8

7. Enzmann, J.
   Uber die Sichtbarkeit von Objekten bei der Beleuchtung von Straßen.
   Thesis university of Karlsruhe Dec. 1977 p. 14-22

8. Zwahlen, H.T.
Industrial and Systems Eugug.
314A, Ohio University,
Athens, Ohio. 45701
(Private Communication)

9. Adrian, W.
Das alternde Auge und die Anforderungen an die Beleuchtung.
Proceedings der Lichttechnischen Genmeinschaftstagung Licht 82, Lugano 1982

SLG Zurich, Seefeldstrasse 300
Switzerland

8. Zwahlen, H.T.
Industrial and Systems Eugug.
314A, Ohio University,
Athens, Ohio. 45701
(Private Communication)

9. Adrian, W.
Das alternde Auge und die Anforderungen an die Beleuchtung.
Proceedings der Lichttechnischen Genmeinschaftstagung Licht 82, Lugano 1982

SLG Zurich, Seefeldstrasse 300
Switzerland

H. Richard Blackwell, Ph.D.
Director
Institute for Research in Vision
Ohio State University
1314 Kinnear Road
Columbus, Ohio 43212

H. Richard Blackwell, Ph.D.
Director
Institute for Research in Vision
Ohio State University
1314 Kinnear Road
Columbus, Ohio 43212

ABOUT THE AUTHOR

Dr. Blackwell is a basic and applied visual scientist (B.S., Haverford College, 1941; A.M., Brown University, 1942). He joined Edwin Land at Polaroid Corporation to design a sterioscopic rangefinder for WWII use. Later in 1943, Blackwell assumed leadership of the Tiffany Foundation Military Visibility Program, U.S. National Defense Research Committee. Established a Vision Research Laboratory (1946), and earned a Ph.D. degree (1947). He received academic status in Psychology, Ophthalmology, Engineering Research, and Industrial Health from the University of Michigan. At Ohio State University he received academic status in Biophysics, Sensory Biophysics, Ophthalmology, Optometry, and Microbiology, and has served as Director, Institute for Research in Vision, Acting Chairman, Biophysics, and Chairman, Sensory Biophysics. Published more than 325 articles and books, and has received Fellow status in the Optical Society of America, the Illuminating Engineering Society of North America, the American Academy of Optometry, the American Institute of Physics, and the American Association for the Advancement of Science. Served as Chairman, Committee of Experts on Visual Performance, International Commission on Illumination, 1963-1979. He has been awarded the Lomb Medal of the Optical Society (1951), the Gold Medal of the IESNA (1972), the Certificate of Appreciation, U.S. Army and Navy (1947), and the Certificate of Distinguished Service, Illuminating Engineering Research Institute (1960).

L'AUTEUR

Dr Blackwell est un scientifique s'occupant de recherches fondamentales et appliquées en vision. Il a reçu son baccalauréat du Haverford College en 1941 et sa maîtrise de la Brown University en 1942. Il s'est associé à Edwin Land de la Polaroid Corporation pour concevoir un télémètre stéréoscopique destiné au WWII. Plus tard en 1943, M. Blackwell a pris la direction du Tiffany Foundation Military Visibility Program du U.S. National Defense Research Committee. Il a mis sur pied en 1946 un laboratoire de recherches sur la vision et a obtenu son doctorat en 1947. M. Blackwell est diplômé en psychologie, en ophthalmologie, en génie et en santé industrielle de l'University of Michigan, ainsi qu'en biophysique, en biophysique sensorielle, en ophthalmologie, en optométrie et en microbiologie de la Ohio State University. Il a été directeur de l'Institute for Research in Vision, président intérimaire du programme de biophysique et président du programme de biophysique sensorielle. L'auteur a signé quelque 325 études et livres et est membre de la Optical Society of America, de la Illuminating Engineering Society of North America, de la American Academy of Optometry, de l'American Institute of Physics ainsi que de l'American Association for the Advancement of Science. M. Blackwell a été président du Comité d'experts de la performance visuelle de la Commission internationale de l'éclairage de 1963 à 1979. Il est lauréat de la Lomb Medal de la Optical Society (1951) et de la Gold Medal de la IESNA (1972); il a reçu un certificat d'appréciation de la U.S. Army and Navy en 1947 et un certificat de distinction du Illuminating Engineering Research Institute (1960).

SUMMARY REVIEW OF REACTIONS TO CIE REPORT NO. 19/2 RECEIVED FROM THE INTERNATIONAL LIGHTING AND VISION COMMUNITY

GENERAL REMARKS

(The present summary review is drawn from a more complete document entitled "A Review of Reactions to CIE Report No. 19/2 Received from the International Lighting and Vision Community". The interested reader should consult the more complete document for detailed discussions of the "parallelism of threshold and suprathreshold curves", and the "Ross gap" issues.)

CIE Report No. 19/2 received a record percentage of approvals from the members of the cognizant CIE Committee TC-3.1, with 20 countries approving and one disapproving when the next to last draft of the report was submitted for letter ballot in 1979. Some ballots were conditional on changes being made in the published form of the report which were indeed made prior to its publication in 1981. Thus, the official record of international support for the report is very strong. However, since the report had been in progress for 9 years by the time final publication occurred, some of the votes to approve may have been based upon the desire of some members to have finished with the report in any case. It is also fair to say that very few members of the Committee or the broader international lighting and vision community are intimately familiar with the details of the long and exceedingly complex report. Thus, it seems prudent to attend well to whatever comments and/or suggestions have been made as to limitations and/or shortcomings of the report. Such suggestions fall into three general categories. Some are very general. Some are highly specific and technical. Some are far more general but retain considerable technical substance. Each of these categories will be discussed in turn. First, however, the limitations placed on Report No. 19/2 in a special section of Volume II will be summarized. Finally, conclusions will be presented as to the

APERÇU SOMMAIRE DES RÉACTIONS AU RAPPORT CIE Nº 19/2, SOUMISES PAR LES SPÉCIALISTES INTERNATIONAUX DE L'ÉCLAIRAGE ET DE LA VISION

GÉNÉRALITÉS

(Cet aperçu sommaire est tiré d'un document plus complet, intitulé: "Aperçu des réactions au rapport CIE 19/2, soumises par les spécialistes internationaux de l'éclairage et de la vision". Le lecteur intéressé devrait consulter le document plus complet, qui traite plus en détail du "parallélisme des courbes liminales et supraliminales", ainsi que de la question de la "lacune de Ross".)

Le rapport CIE nº 19/2 a reçu un pourcentage d'approbation record de la part des membres du comité CT-3.1 de la CIE, 20 pays l'ayant approuvé et un seul l'ayant rejeté lorsqu'on a soumis l'avant-dernière ébauche du rapport au scrutin par correspondance, en 1979. Certains votes comportaient la condition d'un changement à apporter à la version publiée du rapport, changement qui a été effectivement apporté avant sa publication en 1981. L'appui international à ce rapport a donc été très fort. Cependant, vu que le rapport avait été à l'étude pendant neuf ans au moment de sa publication, il se peut que certains votes d'approbation aient été dus à la volonté de quelques membres du comité d'en finir avec le rapport une fois pour toutes. On peut également affirmer que très peu de membres du comité ou de la communauté internationale de l'éclairage et de la vision, dans son ensemble, connaissent bien les détails de ce rapport long et très complexe. Il convient donc d'examiner les commentaires ou suggestions qui ont été faits concernant les limitations et les lacunes du rapport. Ces suggestions se subdivisent en trois grandes catégories: des suggestions générales; des suggestions très spécifiques et techniques; des suggestion beaucoup plus générales mais comportant quand même un fond technique considérable. Nous examinerons tour à tour chacune de ces catégories. Cependant, nous allons d'abord résumer les restrictions qu'attribue

impact of these various reactions to Report No. 19/2 upon acceptability of the new VPI measure proposed in the companion document entitle "Probabilistic Measures of Visual Performance Potential".

au rapport nº 19/2 une section spéciale de tome II. Enfin, nous présenterons des conclusions quant à l'impact de ces diverses réactions au rapport nº 19/2 sur l'acceptabilité de la nouvelle mesure VPI proposée dans le document intitulé "Mesures probabilistes du potentiel de performance visuelle".

LIMITATIONS STATED IN VOLUME II OF REPORT NO. 19/2

These limitations may be summarized as follows:

Some model parameters have been studied only over limited ranges. The following range limitations were specifically noted: (a) only normal observers have been used; (b) values of visibility level have been limited to the range from 0-100; (c) only achromatic targets have been used; (d) luminances have been restricted to the range from 1 to 10,000 cd/m^2; (e) all illuminants have been very similar spectrally to tungsten radiation of 2848°K; and (f) eccentricities of task locations have been limited to 3 degrees or less.

The effects of lighting parameters upon ocular accommodation have not been studied; therefore, the report should not be applied to situations in which large and frequent changes in ocular accommodation are involved.

No account has been taken of worker motivation, or of fatigue or stress which might occur during long periods of prolonged work.

No account has been taken of worker's preferences for lighting.

Pending clarification of the proper interpretation to be placed upon the work of Uitterhoeve, the report should not be considered applicable to situations involving highly specular tasks occurring under highly directional lighting.

LIMITATIONS PRÉCISÉES AU TOME II DU RAPPORT Nº 19/2

On peut résumer ces limitations comme suit:

Certains paramètres du modèle n'ont été étudiés que sur une gamme très limitée. Notons en particulier les limitations de gamme suivantes: (a) on n'a utilisé que des observateurs normaux; (b) les valeurs du niveau de visibilité ont été restreintes à la gamme de 0-100; (c) on a utilisé exclusivement des cibles achromatiques; (d) les luminances ont été restreintes à la gamme de 1 à 10 000 cd/m^2; (e) tous les illuminants étaient très semblables, du point de vue spectral, au rayonnement de 2 848°K du tungstène; et (f) l'eccentricité des positions des tâches a été limitée à 3 degrés ou moins.

On n'a pas étudié les effets des paramètres d'éclairage sur l'accommodation oculaire; on ne doit donc pas essayer d'appliquer le rapport à des situations qui exigent des modifications considérables et fréquentes de l'accommodation oculaire.

On n'a pas tenu compte de la motivation des travailleurs, ni de la fatigue ou du stress qui risquent de se produire pendant les périodes de travail prolongées.

On n'a pas tenu compte des préférences du travailleur en matière d'éclairage.

En attendant que soit précisée la manière dont on devrait interpréter le travail de Uitterhoeve, on ne doit pas considérer que le rapport s'applique à des tâches hautement spéculaires exécutées sous un éclairage très directionnel.

It should probably be added that the definition of visual performance used in the report makes it quite clear that the report is concerned solely with situations in which visual work is required which involves time-stressed demands of speed and accuracy of visual performance for tasks having significant visual components. It should thus be quite clear that the report does not concern itself with aspects of visual perception under conditions in which there is no appreciable demand for speed and accuracy of visual performance.

Ajoutons que, d'après la définition de la performance visuelle utilisée dans le rapport, ce dernier ne s'occupe que des situations où il y a un travail visuel exigeant une performance visuelle rapide et précise, dans le cadre de tâches ayant une composante visuelle significative. Le rapport ne concerne donc pas la perception visuelle dans les situations où il n'y a aucun besoin particulier de performance visuelle rapide et précise.

VERY GENERAL COMMENTS

The following very general comments have been made.

Preparation of the report was hasty, and more time should have been spent discussing it in committee. (It could be argued that considerable additional time has now been spent on international study and discussion of the report, and that perhaps now the proper role for the report can be established.)

Every element of the report is subject to experimental uncertainty. Taken all together, the uncertainty renders the report virtually useless. (The report only claims to be an integrated summary of the state of the art with respect to visual performance aspects of lighting. Uncertainties certainly exist. Use of the report should be carefully designed to minimize the significance of these uncertainties. However, the report should be used, since there does not appear to be any other "game in town" to assist in promoting energy conservation in lighting without undue loss of worker productivity.)

COMMENTAIRES TRÈS GÉNÉRAUX

On a fait les commentaires suivants, très généraux.

Le rapport a été préparé à la hâte, il aurait fallu en discuter davantage en comité. (On pourrait affirmer qu'il y a eu maintenant un temps supplémentaire considérable d'étude et de débat international du rapport, et qu'on pourrait peut-être définir maintenant le rôle approprié pour le rapport.)

Chaque élément du rapport est sujet à une incertitude expérimentale. Lorsqu'on prend le rapport dans son ensemble, l'incertitude lui enlève pratiquement toute utilité. (Le rapport prétend être uniquement un résumé des règles de l'art en ce qui concerne les aspects "performance visuelle" de l'éclairage. Il comporte certainement des incertitudes, et l'utilisation du rapport doit viser à minimiser l'effet de ces incertitudes. Cependant, on devrait effectivement se servir de ce rapport, car il ne semble pas y avoir d'autres moyens du genre qui permettraient une conservation de l'énergie d'éclairage sans perte démesurée de productivité au travail.)

The report is just one massive curve-fitting job. (This probably amounts to saying that the report is entirely based upon empirical data rather than theoretical knowledge concerning human vision. The CIE Committee insisted that only empirical information be used, since the report was considered to have the potential of being applied to real-life situations. Basic visual science is not a very highly developed theoretical science and hence probably not ready for practical application without risk. Actually, there is confirmatory theoretical information on at least some aspects of the report, but it was usually not included in the report at the specific insistence of the CIE Committee.)

Ce rapport est tout juste un énorme travail d'élaboration d'une courbe. (Ceci revient probablement à dire que le rapport est basé entièrement sur les données empiriques plutôt que sur des connaissances théoriques sur la vision humaine. Le comité de la CIE a insisté que l'on utilise uniquement des informations empiriques, puisqu'on voulait appliquer le rapport à des situations réelles. La science visuelle fondamentale n'est pas une science théorique hautement développée; elle n'est donc probablement pas encore prête pour l'application pratique sans risque. En fait, on dispose de renseignements théoriques confirmant au moins certains aspects du rapport, mais ils ont été généralement omis du rapport à la demande expresse du comité de la CIE.)

The report cannot predict whether or not a given person will be able to perform a specific visual task to a specific level of accuracy under specific lighting conditions. (True, since human behavior exhibits such large intrinsic variability. The report attempts to describe probabilistic aspects of the effects of lighting parameters upon visual performance which will be predictive of **relative** (not absolute) effects of lighting variables on worker productivity.)

Le rapport ne permet pas de prévoir si une personne donnée pourra ou non exécuter une tâche visuelle spécifique conformément à un niveau de précision donné, et dans des conditions d'éclairage données. (Vrai, puisque le comportement humain a une très vaste gamme de variabilité. Le rapport vise à décrire les aspects probabilistes de l'effet que les paramètres d'éclairage peuvent avoir sur la performance visuelle, ce qui permettrait de prévoir l'influence **relative** (et non pas absolue) des variables d'éclairage sur la productivité au travail.)

The model is both too complex, having far too many parameters, and too piece-meal and inelegant mathematically. (The complexity of the model was necessary in order to get it approved by the CIE Committee. Many of the complexities can be ignored in most lighting applications, but the model had to include them to avoid the charge of incompleteness or outright error. The model is indeed too piece-meal and inelegant mathematically. It is quite possible that integration and some degree of mathematical elegance may yet be added to the report or its successor.)

Le modèle est à la fois trop complexe, puisqu'il inclut un nombre excessif de paramètres, et trop fragmenté et mathématiquement inélégant. (La complexité du modèle était nécessaire afin qu'il obtienne l'approbation du comité CIE. S'il est vrai que la plupart des complexités peuvent être ignorées dans la majorité des applications d'éclairage, le modèle devait cependant les inclure pour parer à toute accusation que le modèle est incomplet ou erroné. Effectivement, le modèle est beaucoup trop fragmenté et inélégant du point de vue mathématique. Il est possible qu'une certaine intégration et une certaine élégance mathématique pourront encore être ajoutées à ce rapport ou à son successeur.)

The report is naive when it attempts to cover cost-effectiveness analyses. (This appears to be true. The effort made in the report to "carry on" until some notion could be given as to how the model might be used for cost-benefit analyses may have been desirable. However, it appears that use of the report for cost-benefit analyses will be delayed for some time not necessarily through any short-comings of the report. It appears preferable at this point in time to attempt to use the report for evaluating the relative effectiveness of different lighting installations in providing the basis for visual performance and worker productivity.)

SPECIFIC TECHNICAL POINTS

The following technical points have recently been made by S.M. Berman, R. Clear, and R.W. Richardson of the Lawrence Berkeley Laboratory of the University of California, Berkeley.

The cross product summation of values assessing visibility supply and visibility demand used to define the visual performance index, VPI, in the report is incorrect for the stated purpose of the measure. Rather, the correct measure is a cross product summation which also defines the mean value of the relative visual performance, RVP. (As is described in some detail in the companion report entitled "Probabilistic Measures of Visual Performance Potential", the criticism seems fully justified. The companion report proposes, however, that yet another probabilistic measure of visual performance potential be used for lighting applications involving general-purpose interior illumination.)

Lorsqu'il essaie de traiter des analyses de coût-bénéfice, ce rapport est naïf. (Cela semble vrai. L'effort qu'a fait ce rapport pour "avancer coûte que coûte" jusqu'à ce que l'on puisse cerner la manière d'utiliser le modèle pour des analyses de coût-bénéfice, c'était peut-être une bonne chose, mais il semble que l'utilisation du rapport aux fins de ces analyses sera retardée, et non pas à cause des lacunes du rapport. Il semble préférable actuellement de se servir du rapport afin d'évaluer l'efficacité relative de diverses installations d'éclairage, en ce qui concerne la performance visuelle et la productivité au travail.)

PRÉCISIONS TECHNIQUES

Les précisions techniques suivantes viennent d'être apportées par S.M. Berman, R. Clear et R.W. Richardson du Lawrence Berkeley Laboratory, de l'université de la Californie, Berkeley.

La somme des produits en croix des valeurs de l'offre et de la demande de visibilité utilisées pour définir l'indice de performance visuelle (VPI - Visual Performance Index) dans ce rapport, est incorrecte par rapport au but prévu pour cette mesure. La mesure correcte serait la somme des produits en croix qui définirait également la valeur moyenne de la performance visuelle relative (RVP = Relative Visual Performance). (Tel que décrit en détail dans le rapport ci-joint, intitulé: "Mesures probabilistes du potentiel de performance visuelle", cette critique semble complètement justifiée. Cependant, le rapport en question propose que l'on utilise, pour les applications d'éclairage polyvalent d'intérieur, une autre mesure probabiliste du potentiel de performance visuelle.)

Equation (18) on page 32 of Volume II of the report which purports to provide a means for general use of the percentage performance difference, PPD, for use in cost-effectiveness analyses, is incorrect. A much more complex nonlinear expression is required for internal consistency. (Sad to say, the point is well taken. Note that in the companion report, the proposed new probabilistic measure of visual performance potential, designated new VPI, is used without the second step of defining PPD used with the original VPI measure. Furthermore, the general conclusion has been reached that the time has not yet come to use the report for cost-benefit analyses, hence the demise of PPD is perhaps not too serious a matter.)

L'équation (18) à la page 32 du tome II du rapport, qui se veut un moyen permettant l'utilisation polyvalente de l'écart de performance en pourcentage (PPD = Percentage Performance Difference), au fins des analyses de coût-bénéfice, est incorrecte. Afin qu'il y ait cohérence interne, il faudrait une expression non linéaire beaucoup plus complexe. (C'est triste mais vrai. Notons que le rapport ci-joint, qui propose la nouvelle mesure probabiliste du potentiel de performance visuelle - désignée "nouveau VPI" - est utilisé sans la deuxième étape, celle de définir le PPD, étape qui faisait partie de la mesure du VPI d'origine. De plus, on en est généralement arrivé à la conclusion que le rapport n'est pas encore prêt à être utilisé avec des analyses de coût-bénéfice; la disparition du PPD ne pose donc peut-être pas un problème sérieux.)

There is internal inconsistency between the equations used in calculational steps 3 and 6 which are described in Volume I on pages 62 and 63, and again on page 45 of Volume II. (Again, sad to say, the point is well taken. As shown in Figure TN-13 on page 92 of Volume I, it should have been noted that the equation relating X and $\tilde{\alpha}_1$ should have been written as two equations, one referring to the sloped line relating the two for values of $X > .3927$, the other relating the two with a horizontal line for values of $X < .3927$.)

Il y a une incohérence interne entre les équations utilisées aux étapes de calcul 3 et 6 décrites au tome I, aux pages 62 et 63, et aussi à la page 45 du tome II. (Là encore, c'est bien la vérité. Comme le montre la figure TN-13 à la page 92 du tome I, on aurait dû se rendre compte que l'équation reliant X et $\tilde{\alpha}_1$ aurait dû être rédigée sous forme de deux équations: une équation de la droite inclinée représentant les deux variables pour des valeurs de $X > 0{,}3927$, et l'autre équation représentant les deux variables au moyen d'une droite horizontale pour les valeurs de $X < 0{,}3927$.)

A more logical model could be put together using time rather than accuracy as the basic building block. (An interesting suggestion, but sufficiently different from the approach taken in Report No. 19/2 to represent a new CIE report.)

On pourrait réaliser un modèle plus logique en utilisant comme élément de base le temps plutôt que la précision. (C'est une suggestion intéressante, mais suffisamment différente de l'approche utilisée dans le rapport n° 19/2 pour qu'elle représente un nouveau rapport CIE.)

MORE GENERAL TECHNICAL ISSUES

There are two general and highly significant issues which have drawn considerable international comment. The first of these is the issue of what has been called "parallelism of threshold and suprathreshold curves". The second is the issue of the so-called Ross Gap which appears in subsets within the Smith and Rea data obtained on the numerical verification task. These issues may be discussed briefly as follows.

The Parallelism Issue

Although the first stage transformation of the model results in parallel curves of VL as a function of luminance for different values of task contrast, the final output of the model consists of visual performance measures which display markedly nonparallel functions of luminance, the luminance functions becoming increasingly flat as task contrast increases. At sufficiently high contrast, in fact, visual performance parameters are independent of luminance just as would be expected on the basis of other visual measures such as apparent contrast which are independent of luminance at high contrast. The key point is that it is misleading to discuss characteristics of only the first transformation of a two-transformation model. Report 19/2 in no way recommends use of only the first transformation.

There is a closely related issue which concerns the extent to which task contrast, C, and relative contrast sensitivity, RCS, may be interchanged in accordance with the definition of visibility level. It is concluded that there is substantial evidence in support of the validity of the interchangeability principle, some of which is contained in Report No. 19/2, some being contained only in the fifth and sixth papers of the IERI Compendium of Technical Data in Support

AUTRES QUESTIONS TECHNIQUES GÉNÉRALES

Il y a deux problèmes techniques généraux et très significatifs, qui ont fait l'objet de nombreux commentaires internationaux. Le premier est ce qu'on convient d'appeler "le parallélisme des courbes liminales et supraliminales". Le deuxième est la question de ce qu'on appelle "la lacune de Ross", que l'on a observée dans les sous-ensemble des données de Smith et Rea, obtenus en rapport avec la tâche de vérification numérique. Examinons donc brièvement ces questions.

Question du parallélisme

Bien que la première étape de transformation du modèle donne des courbes parallèles du niveau de visibilité (VL = Visibility Level) en fonction de la luminance pour diverses valeurs du contraste de tâche, les résultats finaux du modèle sont des mesures de la performance visuelle qui présentent des fonctions de la luminance nettement non parallèles, les fonctions de luminance devenant de plus en plus constantes à mesure qu'augmente le contraste de tâche. À un contraste suffisamment fort, en fait, les paramètres de performance visuelle sont indépendants de la luminance, comme on s'y attendrait d'ailleurs sur la base d'autres mesures visuelles telles le contraste apparent, qui sont indépendantes de la luminance à des contrastes forts. Le point essentiel est qu'il est erroné de discuter uniquement des caractéristiques de la première transformation d'un modèle qui comporte deux transformations. Le rapport n° 19/2 ne recommande nullement d'utiliser la première transformation seulement.

Une autre question étroitement liée à la précédente concerne le degré auquel le contraste de tâche C et la sensibilité différentielle relative (RCS = Relative Contrast Sensitivity) peuvent être interchangés, conformément à la définition du niveau de visibilité. De nombreuses preuves militent en faveur de la validité du principe d'interchangeabilité; on retrouve certaines de ces preuves dans le rapport n° 19/2, tandis que certaines autres ne se

of CIE Publication No. 19/2. (The 1980 IERI Compendium contains the "long forms" of the papers; the 1981 IERI Compendium contains the "short forms" of the papers.) The evidence features results of an experiment specifically designed to test the validity of the interchangeability principle for visual performance situations, the validity under visibility threshold situations being basically a matter of definition. It also includes a detailed evaluation of the use of the interchangeability principle during analysis of twenty sets of visual work data.

trouvent que dans les cinquième et sixième documents du colloque IERI sur les données techniques justificatives de la publication CIE nº 19/2. (Le manuel IERI 1980 contient ces documents "in extenso"; le manuel IERI 1981 contient ces documents sous forme abrégée). Ces preuves résultent d'une expérience conçue spécifiquement pour vérifier la validité du principe d'interchangeabilité pour des situations de performance visuelle, la validité dans des situations de visibilité liminale étant essentiellement une question de définition. Ces preuves comprennent également une évaluation détaillée de l'utilisation du principe d'interchangeabilité dans l'analyse de vingt ensembles de données de travail visuel.

The Ross Gap Issue

D.K. Ross first pointed out that data subsets of the Smith-Rea numerical verification task failed to produce a single curve relating task performance scores to visibility level, there being rather a gap along the performance score axis between data subsets involving different task display conditions. The difference in display conditions involved the use of "matched" versus "unmatched" pairs of visual displays for the standard and comparison lists in different subdivisions of the experiment. Actually, as is reported in the sixth Compendium paper, this type of lack of congruence among data subsets was observed in various others of the visual work experiments described in Report No. 19/2. However, it was shown in the sixth paper that congruence could be established by normalization, that is, by using a suitable value of TP_{max} (the value of task performance for large values of visibility level, VL) derived from each data subset.

Question de la lacune de Ross

C'est D.K. Ross qui a signalé en premier le fait que les sous-ensembles de données de la tâche de vérification numérique de Smith-Rea n'avaient produit aucune courbe qui ferait le lien entre les indices de performance de tâche et le niveau de visibilité; on constate une lacune considérable, le long de l'axe des indices de performance, entre des sous-ensembles de données mettant en jeu des conditions d'affichage de tâche différentes. Ces différences des conditions d'affichage étaient dues à l'utilisation de paires soit "appariées" soit "non appariées" d'affichages visuels pour les listes standard et de comparaison, dans diverses subdivisions de l'expérience. En fait, comme le signale le sixième document du manuel, ce genre de manque de congruence entre les sous-ensembles de données a été également noté dans diverses autres expériences de travail visuel décrites dans le rapport nº 19/2. Cependant, la sixième document avait démontré que l'on pouvait créer la congruence par normalisation, c.-à-d. en utilisant une valeur appropriée de TP_{max} (la valeur de performance de tâche pour des niveaux de visibilité élevés, TP = Task Performance) tirée de chaque sous-ensemble de données.

The more complete document presents the analysis of unpublished data of Smith and Luthman in which the Ross gap is clearly evident in data subsets, all of which involved matched pairs of standard and comparison lists. These data are also brought into congruence by means of the TP_{max}-adjust method. Thus, the issue is not related to the existence of different values of VL for different components of the work task, as previous discussion has suggested. Rather, it concerns the assumption that factors such as size, contrast, and configuration of the task visual display affect only VL and not other task parameters such as task demand level and TP_{max}. The data clearly show that visual display parameters can affect more than VL. On the basis of this evidence, it may be concluded that the model is valid, but only for establishing relative values of visual performance.

CONCLUSIONS

As is discussed in detail in the more complete document, it is concluded that none of the reactions received from the international lighting and vision community appear to invalidate the use of the new VPI probabilistic measure of visual performance potential for relative evaluation of lighting installations for the purpose of ensuring the maintenance of worker productivity in an era of energy conservation. This measure depends on use of the full two-stage model so that the parallelism issue seems satisfactorily taken care of. It represents a statistical evaluation of the proportion of instances in which one or another task parameter is involved either in visibility demand or visibility supply, an approach which is virtually unaffected by whatever is responsible for the Ross gap issue.

Le document plus complet présente l'analyse des données de Smith et Luthman non publiées, où la lacune de Ross est nettement visible dans les sous-ensembles de données, ces derniers ayant tous été basés sur des paires appariées de listes standard et de comparaison. La congruence de ces données est également réalisée au moyen de la méthode d'ajustement du TP_{max}. Le problème n'a donc rien à voir avec l'existence de diverses valeurs de VL pour des composants différents de la tâche, comme l'avaient suggéré les discussions antérieures. Plutôt, elle concerne l'hypothèse que les facteurs tels la grandeur, le contraste et la configuration de l'affichage visuel de la tâche affectent uniquement VL, et non pas d'autres paramètres de tâche tels le niveau d'exigence de la tâche et TP_{max}. Les données indiquent clairement que les paramètres d'affichage visuel peuvent affecter plus que VL. Basé sur ces preuves, on peut conclure que le modèle est valide, mais uniquement pour établir des valeurs relatives de la performance visuelle.

CONCLUSIONS

Comme l'indique plus en détail le document plus complet, on peut conclure qu'aucune des réactions présentées par les spécialistes internationaux dans le domaine de l'éclairage et de la vision ne semble rendre invalide l'utilisation de la nouvelle mesure probabiliste VPI du potentiel de performance visuelle, aux fins de l'évaluation relative des installations d'éclairage, pour assurer le maintien de la productivité au travail tout en permettant de conserver l'énergie. Pour cette mesure, il faut utiliser les deux étapes du modèle, ce qui permet de résoudre de manière satisfaisante le problème du parallélisme. Cette mesure représentent une évaluation statistique du nombre de cas où un paramètre quelconque de la tâche affecte soit la demande de visibilité, soit l'offre de visibilité; c'est une approche qui n'est pratiquement jamais affectée par la question de la lacune de Ross.

SUMMARY DESCRIPTION OF A PROPOSED PROBABILISTIC MEASURE OF VISUAL PERFORMANCE POTENTIAL FOR USE IN EVALUATING INSTALLATIONS OF GENERAL-PURPOSE INTERIOR LIGHTING

(The present description of the proposed new measure is a summary only. The interested reader should consult the more detailed description contained in the document entitled "Probabilistic Measures of Visual Performance Potential", in which the technical justification for the method is given together with description and evaluation of three other measures intended for the same purpose.)

The new proposed probabilistic measure of visual performance potential is designated the "new visual performance index", or new VPI to distinguish it from the probabilistic measure designated VPI which is described in Volume II of CIE Report No. 19/2 (1981). The proposed new VPI, like the original VPI measure, is derived from visibility supply and demand distributions, and is intended to provide an overall measure of the extent to which a given lighting installation provides a distribution of values of supplied task visibility demanded by different workers when faced with different tasks in occupations involving tasks with significant visual components. The mode of operation of the new VPI method may be described in terms of Figure 1, the derivation of which is described in detail in the document referred to above. The solid curve represents a visibility demand distribution based on consideration of a distribution of individual members of the U.S. work force differing in age, and consideration of the frequency with which different levels of task demand for speed and accuracy of visual performance were found to be involved in the 18 appropriate sets of visual work data described in Report No. 19/2. The two visibility supply distributions correspond to sample levels of reference luminance, the dashed representing 100 and the dotted representing 10,000 cd/m^2.

DESCRIPTION SOMMAIRE D'UNE MESURE PROBABILISTE PROPOSÉE DU POTENTIEL DE PERFORMANCE VISUELLE, PERMETTANT D'ÉVALUER LES INSTALLATIONS D'ÉCLAIRAGE POLYVALENT D'INTÉRIEUR

(La présente description de cette nouvelle mesure proposée n'est qu'un sommaire. Le lecteur intéressé devrait consulter la description plus détaillée présentée dans le document intitulé: "Mesures probabilistes du potentiel de performance visuelle", qui donne la justification technique de la méthode ainsi qu'une description et une évaluation de trois autres mesures visant le même objectif.)

La nouvelle mesure probabiliste proposée pour le potentiel de performance visuelle est désignée "nouvel indice de performance visuelle" (VPI = Visual Performance Index), afin de le distinguer de la mesure probabiliste désignée "VPI", décrite au tome II du rapport CIE n^{o} 19/2 (1981). Comme l'ancienne mesure VPI, le nouveau VPI est titré de distributions d'offre et demande de visibilité; cet indice permet de savoir, de façon générale, dans quelle mesure une installation d'éclairage donnée peut assurer une distribution des valeurs de visibilité de tâche qui égalent ou dépassent les valeurs de visibilité de tâche qu'exigent divers travailleurs ayant des tâches différentes comportant des composantes visuelles significatives. On peut décrire l'utilisation de la nouvelle méthode VPI au moyen de la figure 1, dont le document susmentionné décrit le mode d'obtention. La courbe en trait plein représente une distribution de la demande de visibilité de membres individuels de la population américaine active dans les divers groupes d'âge; elle tient compte de la fréquence des divers niveaux d'exigence des tâches (vitesse et précision de la performance visuelle), dans les 18 ensembles de données de travail visuel décrits dans le rapport 19/2. Les deux répartitions de l'offre de visibilité correspondent à des niveaux-échantillons de la luminance de référence, le trait interrompu représentant 100 et le pointillé représentant 10 000 cd/m^2.

The operation of the method depends upon selection of a criterion value of p_d, the quantity denoted by the left-hand ordinate which refers to the visibility demand distribution. The document referred to above presents the bases for selection of a value equal to .750. (As will be noted below, it is possible to modify this choice of parameter fairly easily if desired. Changes in the criterion value alter the absolute values of the new VPI but have little effect upon relative values obtained with different lighting installations.) There is of course a single value on the abscissa of Figure 1 corresponding to this criterion, the value of log V, that is, logarithm of equivalent visibility, being equal to .8083 when the criterion is set at .750. The antilogarithm of .8083 = 6.431, the value of equivalent visibility implied by the present use of the method. This level of equivalent visibility provides workers of differing age different levels of visual performance potential, depending upon the level of task demand for speed and accuracy. For example, workers in the 20-30 age range are provided values of visual performance potential varying from about .77 to .92 for different levels of task demand. Corresponding values for the workers in the 60-70 age range vary from about .57 to .68.

To this point, the mode of operation of the method consists simply of drawing a horizontal line across Figure 1 from a selected value on the left hand ordinate, intersecting the solid curve and dropping a perpendicular to the abscissa. The next step consists of reading off values of p_s corresponding to the criterion value of log V from any number of visibility supply curves of interest. This operation consists of raising a perpendicular from the criterion value of log V until it intersects a visibility supply curve and then constructing a horizontal line across to the right-hand ordinate scale. A value of p_s is read from each visibility supply distribution of interest. The new VPI is calculated by dividing the value of p_s obtained from a given visibility supply distribution by the value obtained from the visibility supply

Pour utiliser cette méthode, il faut choisir une valeur-critère de p_d, qui est la valeur de l'ordonnée, du côté gauche, se référant à la distribution de la demande de visibilité. Le document susmentionné précise les raisons pour lesquelles il faudrait choisir une valeur de 0,750. (Nous verrons plus loin que la valeur de ce paramètre peut être modifiée sans difficulté, au besoin. Une modification de la valeur du critère change les valeurs absolues du nouveau VPI, mais n'influe que très peu sur les valeurs relatives obtenues pour des installations d'éclairage différentes.) Bien sûr, il n'y a qu'une valeur de l'abscisse, dans la figure 1, qui corresponde à ce critère: la valeur de log V, c.-à-d. le logarithme de la visibilité équivalente, qui est égal à 0,8083 lorsque la valeur du critère est fixée à 0,750. L'antilogarithme de 0,8083 est 6,431, la valeur de la visibilité équivalente obtenue par l'utilisation actuelle de la méthode. Ce niveau de visibilité équivalente donne aux travailleurs ayant des âges différents des niveaux différents de potentiel de performance visuelle, selon le niveau de vitesse de précision demandé pour la tâche. Par exemple, pour les travailleurs âgés de 20 à 30 ans, cela donne des valeurs du potentiel de performance visuelle allant d'environ 0,77 à 0,92 pour divers niveaux de demande de la tâche. Les valeurs correspondantes pour les travailleurs âgés de 60 à 70 ans varient d'environ 0,57 à 0,68.

En ce moment, pour utiliser cette méthode, il suffit de tracer une ligne horizontale à travers la figure 1, à partir d'une valeur choisie sur l'axe des ordonnées du côté gauche, ligne qui intersecte la courbe en trait plein, puis de tracer une ligne perpendiculaire jusqu'à l'abscisse. Deuxième étape: lecture des valeurs de p_s correspondant à la valeur-critère de log V, à partir de toute une gamme de courbes d'offre de visibilité pertinentes. On y parvient en traçant une perpendiculaire vers le haut à partir de la valeur-critère de log V, jusqu'à ce qu'elle intersecte une courbe d'offre de visibilité, puis en traçant une ligne horizontale jusqu'à l'échelle des ordonnées qui se trouve à droite. On peut alors relever une valeur de p_s à partir de chaque distribution d'offre de visibilité pertinente. On calcule le nouveau VPI en

distribution for 100 cd/m^2 reference luminance shown as the dashed line in Figure 1.

Values of new VPI obtained in this manner for different levels of reference luminance are presented in Figure 2. Each data point is labeled in terms of the value of reference luminance and a corresponding value of reference illuminance (lx) based upon a convenient value of the luminance factor = .628 which leads to values of reference illuminance (lx) equal to precisely five times the values of reference luminance (cd/m^2). The abscissa in Figure 2 is labeled in terms of the quantity (RCS X CRF X DFG X TAF). In the case of reference lighting, CRF = DGF = TAF = unity, and the abscissa equals log RCS. However, in real lighting installations, these modifying factors will not equal unity and the abscissa will equal values of (RCS X CRF X DGF X TAF). Values of CRF are currently available, although improved technology is very much needed; the use of values of DGF and TAF must await the development of standardized methods of measurements and predetermination of these quantities. Note that in calculating values of RCS from a measured or predetermined value of task luminance, the RCS reference function parameters are to be used, that is: S = 1.639; t = 1; n = 1.555.

Additional computational steps are as follows:

1. Calculate RCS_{eff} = RCS X CRF X DGF X TAF and take the logarithm.
2. Calculate log $\tilde{V}_s = .8800^a + \log RCS_{eff}$.
3. Calculate the quantity (x/σ) of the normal frequency distribution

   where $(x/\sigma) = \dfrac{\log \tilde{V}_s - .8083^a}{.232^a}$

divisant la valeur de p_s obtenue à partir d'une distribution donnée d'offre de visibilité par la valeur obtenue à partir de la distribution d'offre de visibilité pour la luminance de référence de 100 cd/m^2, indiquée sous forme de ligne en trait discontinu de la figure 1.

La figure 2 présente les valeurs du nouveau VPI obtenues de cette manière pour divers niveaux de la luminance de référence. Pour chaque point de donnée, on indique la luminance de référence ainsi que la valeur correspondante de l'éclairement de référence (lx) basées sur une valeur convenable du facteur de luminance énergétique = 0,628, ce qui donne des éclairements de référence (lx) équivalant à exactement cinq foix les valeurs de luminance de référence (cd/m^2). Les quantités (RCS x CRF x DGF x TAF) constituent l'abscisse dans la figure 2. Dans le cas de l'éclairage de référence, CRF = DGF = TAF = 1, et la valeur en abscisse égale log RCS. Cependant, dans le cas d'installations d'éclairage réelles, ces facteurs modificateurs ne seront pas égaux à 1, et l'abscisse sera (RCS x CRF x DGF x TAF). Des valeurs de CRF sont disponibles, bien qu'il faille encore améliorer la technique; avant de pouvoir utiliser les valeurs de DGF et TAF, il faudra élaborer des méthodes standard permettant de mesurer et de prédéterminer ces quantités. Notons que, pour calculer les valeurs de RCS à partir d'une valeur mesurée ou prédéterminée de la luminance de tâche, il faut utiliser les paramètres de la fonction de référence RCS, c.-à-d.: S = 1,639, t = 1; n = 1,555.

Voici les étapes de calcul supplémentaires:

1. Calculer RCS_{eff} = RCS X CRF X DGF X TAF et en prendre le logarithme.
2. Calculer log $\tilde{V}_s = 0{,}8800^a + \log RCS_{eff}$.
3. Calculer la quantité (x/σ) de la distribution normale des fréquences

   où $(x/\sigma) = \dfrac{\log \tilde{V}_s - 0{,}8083^a}{0{,}232^a}$

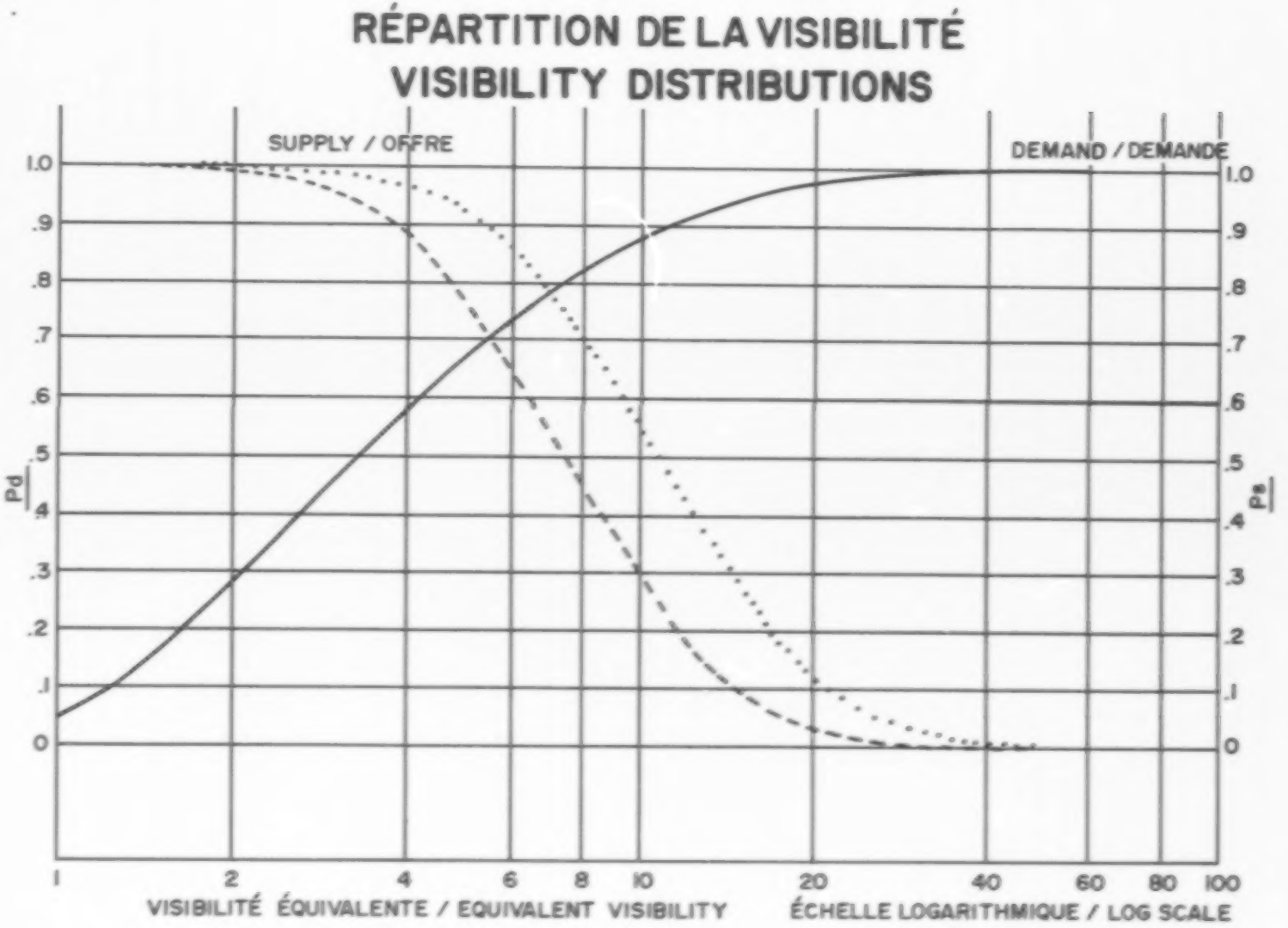

RÉPARTITION DE LA VISIBILITÉ
VISIBILITY DISTRIBUTIONS
SUPPLY / OFFRE
DEMAND / DEMANDE
Pd
Ps
1.0
.9
.8
.7
.6
.5
.4
.3
.2
.1
0
1
2
4
6
8
10
20
40
60
80
100
VISIBILITÉ ÉQUIVALENTE / EQUIVALENT VISIBILITY
ÉCHELLE LOGARITHMIQUE / LOG SCALE

FIGURE I

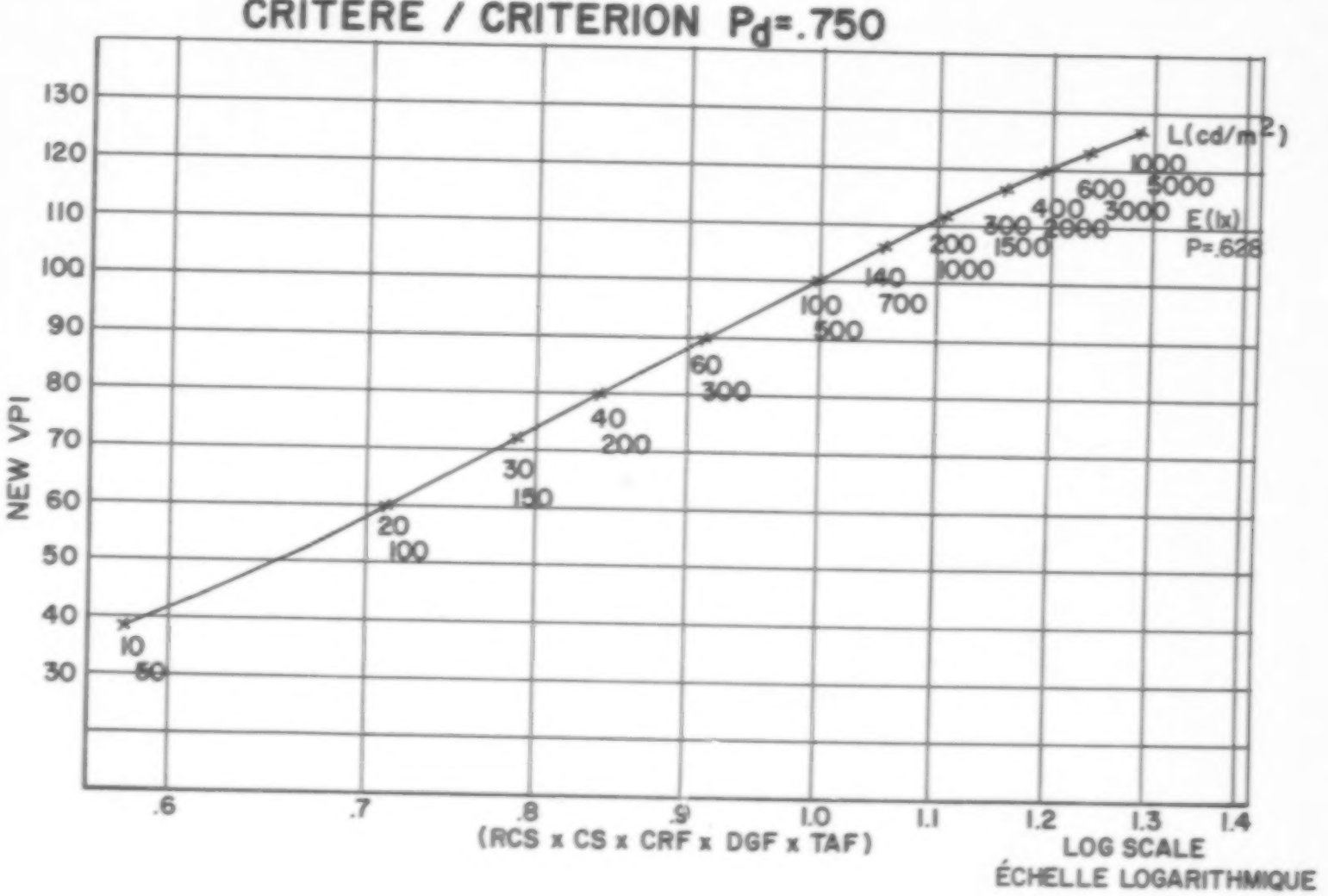

CRITÈRE / CRITERION P_d=.750
NEW VPI
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
.6
.7
.8
.9
1.0
1.1
1.2
1.3
1.4
(RCS x CS x CRF x DGF x TAF)
LOG SCALE
ÉCHELLE LOGARITHMIQUE
L(cd/m²)
E(lx)
P=.628
10
50
20
100
30
150
40
200
60
300
100
500
140
700
200
1000
300
1500
400
2000
600
3000
1000
5000

FIGURE 2

4. Determine the value of the normal frequency function (integral of the normal frequency distribution) corresponding to (x/σ) from standard calculator routines or standard tables, for example Table 3 of Vol. I of 19/2 or Table A-1 of Vol. II of 19/2, pages 65-66 and 48-49, respectively. Designate the quantity $P_s \geq d$ signifying that this value is the probability that visibility supply will equal or exceed visibility demand.

5. Calculate $VPI = 100 (P_s \geq d / P_s \geq d^a)$ where $P_s \geq d^a$ is the value of $P_s \geq d$ for reference luminance of 100 cd/m^2. (The value is .6214 for the criterion value of $p_d = .750$.)

Note: The superscript a indicates empirical constant which may under some conditions be subject to change. See below.

Evaluations of lighting installations intended to provide general-purpose interior lighting require study of a number of work stations within a given work space, since experience has shown clearly that the value of RCS_{eff} will usually show considerable variation among stations. It is proposed that a VPI survey be conducted within each work space of interest, a value of VPI being assigned to each work station. It is further proposed that the overall assessment of the visual performance potential of the work space consist of assignment of an overall value of VPI, representing a level of VPI **achieved or exceeded** by some preselected percentage perhaps in the range from 80 per cent to 90 per cent of all possible work stations. (Current engineering practice in North America proceeds in this way with respect to the ESI effectiveness criterion.) It is proposed finally that different lighting installations be compared in terms of the overall value of VPI obtained by this procedure. (This amounts, of course, to establishing a 100 cd/m^2 level of reference luminance as a useful reference value for general purpose interior lighting. The extent to which a value of VPI = 100 or some other number becomes a goal or standard for preserving worker productivity in an era of energy conservation must of course be left for application engineers to decide.)

4. Déterminer la valeur de la fonction normale des fréquences (l'intégrale de la distribution normale des fréquences) correspondant à (x/σ), à partir des programmes de calcul standard ou des tableaux standard, par exemple le tableau 3 du volume I de la publication 19/2, ou le tableau A-1 du volume II de 19/2, respectivement aux pages 65-66 et 48-49. Désigner cette quantité $P_s \geq d$, cette valeur étant la probabilité que l'offre de visibilité sera égale ou supérieure à la demande de visibilité.

5. Calculer $VPI = 100 (P_s \geq d / P_s \geq d^a)$ où $P_s \geq d^a$ est la valeur de $P_s \geq d$ pour une luminance de référence de 100 cd/m^2. (La valeur est de 0,6214 pour la valeur-critère de $p_d = 0{,}750$.)

Remarques: L'indice supérieur a indique des constantes empiriques qui, dans certaines conditions, sont susceptibles de changer. Voir ci-après.

Pour évaluer les installations polyvalentes d'éclairage d'intérieur, il faut étudier plusieurs postes de travail dans un local donné, car l'expérience l'a bien montré: la valeur de RCS_{eff} peut varier considérablement d'un poste de travail à l'autre. On propose de relever le VPI de chaque espace de travail en question, en affectant une valeur de VPI à chaque poste de travail. Nous proposons également de déterminer le potentiel total de performance visuelle de l'espace de travail en lui affectant une valeur de VPI globale, qui serait le niveau de VPI **réalisé ou dépassé** par un certain pourcentage des postes de travail, par exemple 80 à 90 pour cent. (C'est ce qu'on fait aujourd'hui dans le métier en Amérique du Nord, en ce qui concerne le critère d'efficacité ESI.) Enfin, nous recommandons de comparer diverses installations d'éclairage en termes de la valeur de VPI globale fournie par cette méthode. (Cela revient, bien sûr, à établir un niveau de luminance de référence de 100 cd/m^2 en tant que valeur de référence pour l'éclairage polyvalent d'intérieur. Il incombe cependant aux éclairagistes de décider, en termes de conservation de l'énergie, la mesure dans laquelle une valeur de VPI = 100 ou un autre chiffre quelconque doit servir de but ou de norme de productivité au travail.)

Note that the VPI method eliminates some of the complications usually associated with assessment of lighting installations in terms of their visual effectiveness with respect to visual performance potential. Perhaps the most important complication which is eliminated involves the use of the ERI (ESI) concept. ERI values are highly nonlinear measures of visual performance potential and may therefore be misleading. (Use of values of VL in place of values of ERI is not recommended since VL is also nonlinearly related to visual performance potential.) However, it should be pointed out that ERI can be readily introduced by reference to the overall work space value of VPI, if this is deemed desirable. The calculational procedure involves working backwards through the five-step calculational procedure presented above, thus obtaining a value of RCS_{eff} corresponding to the value of overall work space VPI. A value of equivalent reference luminance, ERL, is then calculated from the relationship:

$$ERL\ (cd/m^2) = 1.639\ \{(\frac{1.555}{RCS_{eff}})^{.4} - 1\}^{-2.5}$$

Then,

$$ERI\ (lx) = 5 \times ERL$$

Consider an example of use of the new VPI method. Calculational aids were a TI-55-II for the most routine calculations and a TI Programmable 59 for the tables of the normal probability integral as a function of x/σ. Even though every calculation was repeated twice as a check and every step was recorded, total calculational time was less than one hour. Test room data were taken from Reference 30 of 19/2. The OSU test room was used with continuous row layouts of prismatic panels. Viewing angle was 25 degrees. The work space was considered to consist of 60 work stations involving orthogonal viewing with respect to the rectangular room. Total power consumed was 49.4 watts per square meter. (The installation was of vintage before 1975.) A total of 20 work stations were measured as representative of the 60, assuming bilateral and end-for-end

Notons que la méthode VPI élimine quelques-unes des complications inhérentes à l'évaluation des installations d'éclairage en termes de leur efficacité visuelle, en ce qui concerne le potentiel de performance visuelle. La complication la plus importante qui est ainsi éliminée concerne l'utilisation du concept de ERI (ESI). Les valeurs de ERI sont des mesures hautement non linéaires du potentiel de performance visuelle; elles risquent donc d'être trompeuses. (On ne recommande pas l'utilisation des valeurs de VL à la place des valeurs ERI, parce que le niveau de visibilité a, lui aussi, un rapport non linéaire au potentiel de performance visuelle.) Toutefois, notons qu'au besoin on peut facilement introduire le ERI, en se référant à la valeur du VPI pour l'ensemble du local de travail. Pour ce calcul, on suit en sens inverse les cinq étapes de calcul présentées ci-dessus, ce qui donne une valeur de RCS_{eff} correspondant à la valeur VPI pour l'ensemble du local de travail. On calcule alors la valeur de la luminance de référence équivalente (ERL = Equivalent Reference Luminance), à partir de la relation:

$$ERL\ (cd/m^2) = 1,639\ \{(\frac{1,555}{RCS_{eff}})^{0,4} - 1\}^{-2,5}$$

Donc,

$$ERI\ (lx) = 5 \times ERL$$

Prenons un exemple d'utilisation de la nouvelle méthode VPI. On a utilisé un TI-55-II pour les calculs les plus simples, et une calculatrice programmable TI 59 pour les tableaux de l'intégrale normale des probabilités en fonction de x/σ. Bien que chaque étape du calcul ait été répétée deux foix aux fins de vérification, et que chaque étape ait été notée, la totalité des calculs a été achevée en moins d'une heure. Les données de la pièce expérimentale ont été prélevées sur la référence 30 de 19/2. On a utilisé la salle d'essai OSU, en y disposant des panneaux prismatiques en rangées continues. L'angle de vision était de 25 degrés. On a considéré que l'espace de travail comprenait 60 postes de travail mettant en jeu une vision orthogonale par rapport à la pièce rectangulaire. La puissance totale consommée était de 49,4 watts par mètre carré. (L'installation

symmetry. Individual data consisted of values of task luminance (cd/m^2) and the contrast rendering factor, CRF. Values of VPI corresponding to the criterion value of $p_d = .750$ are presented in Table 1. Note that the entire range of values of VPI for the 60 work stations was only from 90.0 to 125.2. In order to assess the overall work space VPI, tally the values of VPI beginning with the lowest until 10 per cent or 20 per cent of the total of 60 work stations are represented, as is illustrated in Table 2. The 80 per cent criterion was used and resulted in an overall value of 95.5 VPI for the work space. The meaning of this value is that 80 per cent of the individual work stations provided 95.5 VPI or more. The value of ERL corresponding to VPI equals

datait d'avant 1973.) On a mesuré 20 postes de travail au total en supposant qu'ils représentaient les 60 postes, et en supposant une symétrie bilatérale et d'une extrémité à l'autre. On a relevé comme données individuelles les valeurs de la luminance de tâche (cd/m^2) et du facteur de rendu du contraste (CRF = Contrast Rendering Factor). Les valeurs de VPI correspondant à la valeur-critère de $p_d = 0{,}750$ figurent au tableau 1. Notons que toute la gamme de valeurs de VPI pour les 60 postes de travail était comprise entre 90,0 et 125,2 seulement. Afin d'évaluer le VPI de l'ensemble du local de travail, on prend les valeurs de VPI en commençant par la moins élevée, jusqu'à ce que 10 ou 20 pour cent des 60 postes de travail soient représentés,

Location/ Endroit	Number Alike/ Nombre de postes identiques	L (cd/m^2)	CRF	VPI ($p_d = .750$)
30	2	654.2	.790	98.6
32	2	674.7	.922	115.7
34	2	558.3	.780	95.5
36	2	674.7	.924	115.9
40	4	685.0	1.006	124.3
42	4	585.7	.902	112.2
44	4	626.8	1.014	124.3
46	4	606.2	.902	112.5
50	4	596.0	.765	93.9
52	4	602.8	.910	113.4
54	4	500.1	.752	90.0
56	4	664.4	.928	116.3
70	4	739.8	1.010	125.2
72	2	695.3	.915	115.2
76	2	678.2	.918	115.3
80	2	667.9	.794	99.4
86	2	760.4	.942	118.8
100	4	602.8	.772	95.1
102	2	674.7	.930	116.6
106	2	743.2	.944	118.9
Total	60		Gamme/Range	90.0 - 125.2

Table 1: OSU Test Room Analysis; 49.4 total watts/m^2, 25° View, Continuous Rows, Prismatic Panels, Complete VPI Analysis

Tableau 1: Analyse de la salle d'essai OSU; 49,4 watts/m^2 au total, vision à 25°, rangées continues, panneaux prismatiques, analyse VPI complète

95.5 was identified by the reverse calculational procedure as 79.46 cd/m^2. The approximate value of ERI was calculated to be 397 lx.

comme l'illustre le tableau 2. En adoptant le critère des 80 pour cent, on a obtenu une valeur VPI d'ensemble de 95,5 pour le local de travail. Ce que cela veut dire, c'est que 80 pour cent des postes de travail individuels permettaient un VPI de 95,5 ou plus. La valeur ERL correspondant au VPI de 95,5 a été trouvée au moyen de calcul à rebours: 79,46 cd/m^2. La valeur approximative calculée pour le ERI a été de 397 lx.

1. Establishment of Overall Work Space VPI

Tally from Low VPI

1. 90.0
2. 90.0
3. 90.0
4. 90.0
5. 93.9
6. 93.9
7. 93.9

90% 8. 93.9

9. 95.1
10. 95.1
11. 95.1
12. 95.1
13. 95.5

80% 14. 95.5

15. 98.6
16. 98.6
17. 99.4
18. 99.4

Overall VPI = 95.5 for 80 per cent Criterion

2. Establishment of Overall Work Space ERI

RCS_{eff} for VPI = 95.5 = .9621
ERL (cd/m^2) = 79.46
ERI (lux) ≈ 397

Table 2: Same Conditions as Table 1

1. Détermination du VPI global pour l'espace de travail

Commencer par le VPI le plus faible

1. 90,0
2. 90,0
3. 90,0
4. 90,0
5. 93,9
6. 93,9
7. 93,9

90% 8. 93,9

9. 95,1
10. 95,1
11. 95,1
12. 95,1
13. 95,5

80% 14. 95,5

15. 98,6
16. 98,6
17. 99,4
18. 99,4

VPI global = 95,5 pour le critère de 80 pour cent

2. Détermination du ERI global du local de travail

RCS_{eff} pour VPI = 95,5 = 0,9621
ERL (cd/m^2) = 79,46
ERI (lux) ≈ 397

Tableau 2: Mêmes conditions que pour le tableau 1

The flexibility of the new VPI method is worthly of emphasis. Suppose, for example, a country other than the U.S.A. wishes to use the VPI method. Since worker age is one of the important parameters used in the method, it should be possible without unreasonable effort to convert the method as here described to refer to a national work force with a different age distribution. The procedure for modifying the calculational procedures would proceed as follows. A recent national census would be used to construct an age distributional graph, and this graph would be used to calculate populational weighting coefficients for the five age decades. A modified visibility demand distribution would then be computed on the basis of the age weighting coefficients, using the data contained in the right-most five columns of Table 3. Simply weighting each value in the table for each age group by the appropriate age weighting coefficient and summing would yield the desired visibility demand distribution. A value of criterion log V_d would then be established corresponding to the .750 criterion value of p_d by linear interpolation, and this number would be substituted for the value of .8083 in calculational step 3.

Flexibility also exists with respect to the assumed distribution of values of C used in constructing the visibility supply distribution (see the referenced document for more detail on this point). New data for a particular class of work spaces could be used to modify the visibility supply distributions. All that would be required would be a distribution of values of C which would presumably consist of a log normal distribution with different ogival parameters than those used in the present calculations (see the referenced document for more detial on this point). A new constant to replace the value of .8800 in calculational step 2 would be calculated by adding 1.035 to the logarithmic mean of the distribution of values of C. (In our example, the value of .8800 was obtained by adding 1.035 to -.155.) Finally, the variance measure of the log normal distribution of values of C would be used to replace the value .232 in calculational step 3.

La souplesse de la nouvelle méthode VPI mérite d'être soulignée. Supposons par exemple qu'un pays autre que les États-Unis veuille utiliser la méthode VPI. Vu que l'âge des travailleurs est l'un des paramètres importants de cette méthode, il devrait être assez facile d'adapter la méthode décrite ici à une population active ayant une distribution d'âges différente. La modification du procédé de calcul se ferait comme suit: au moyen d'un recensement national récent, on établirait un graphique de répartition d'âges, qui servirait ensuite à calculer des coefficients de pondération démographiques pour les cinq décennies d'âges; on calculerait ensuite une répartition modifiée de la demande de visibilité, basée sur ces coefficients de pondération d'âge, au moyen des données des cinq colonnes les plus à droite du tableau 3. Une simple pondération de chaque valeur du tableau, pour chaque groupe d'âges, au moyen de bon coefficient de pondération d'âge, puis leur addition donnerait la répartition voulue de la demande de visibilité. On établirait ainsi une valeur du critère log $\tilde{V}_d$ correspondant à la valeur-critère de 0,750 de p_d au moyen d'une interpolation linéaire; ensuite, on substituerait ce chiffre à la valeur de 0,8083, dans l'étape de calcul n° 3.

Il y a aussi une certaine souplesse en ce qui concerne l'hypothèse de répartition des valeurs de C à partir desquelles on a établi la répartition d'offre de visibilité (le document de référence contient des détails supplémentaires à ce sujet). Pour modifier les répartitions d'offre de visibilité, on pourrait utiliser de nouvelles données pour une catégorie particulière de locaux de travail; il suffirait, à cette fin, d'avoir une répartition des valeurs de C qui serait, en principe, une répartition logarithmique normale ayant des paramètres ogivaux différents de ceux utilisés dans le calcul actuel (le document de référence fournit des détails supplémentaires à ce sujet). On calculerait une nouvelle constante pour remplacer la valeur de 0,8800, à l'étape de calcul n° 2, en ajoutant 1,035 à la moyenne logarithmique de la répartition des valeurs de C. (Dans notre exemple, on a obtenu la valeur de 0,8800 en ajoutant 1,035 à -0,155.) Enfin, la mesure du variance de la répartition logarithmique normale des valeurs de $\tilde{C}$ remplacerait la valeur de 0,232 à l'étape de calcul n° 3.

(If desired, of course, a modification could easily be made in the criterion value of p_d which would simply modify the .8083 value in calculational step 3.)

As discussed in more detail in the referenced document, the new VPI method is considered far and away the best of the methods proposed to date for overall probabilistic assessment of the visual performance potential of installations of general interior lighting. Values of new VPI have the advantage of responding sensitively to changes in reference luminance, and hence to changes in the quantity (RCS X CRF X DGF X TAF). One very desirable feature of the method is that the values of VPI apply equally to situations involving one or another combination of worker age and task demand, a feature not shared by other proposed methods. Furthermore, as shown just above, the method can be conveniently modified for alterations in such conditions as the age distribution of the worker population and/or the distribution of values of $\bar{C}$ in a given class of work spaces. Modification of other proposed methods to take account of such changes would involve massive recalculations. Finally, other proposed methods provide no direct method for calculating values of VPI corresponding to the different values of RCS_{eff} which will be obtained at different work stations in a given work space. Graphical methods involving interpolating among the values of VPI calculated for different reference luminances would have to be used.

(On pourrait bien sûr modifier facilement la valeur-critère de p_d, ce qui modifierait tout simplement la valeur de 0,8083 à l'étape de calcul n° 3.)

Tel que précisé en détail dans le document de référence, on considère que la nouvelle méthode VPI est de loin la meilleure méthode proposée, à ce jour, pour l'évaluation probabiliste d'ensemble du potentiel de performance visuelle des installations polyvalentes d'éclairage intérieur. Le nouveau VPI offre l'avantage que ses valeurs réagissent sensiblement aux changements de luminance de référence et donc aux changements de la quantité (RCS X CRF X DGF X TAF). Aspect très avantageux de cette méthode: les valeurs de VPI s'appliquent également à diverses combinaisons d'âge du travailleur et d'exigences de la tâche, avantage que n'offre pas les autres méthodes proposées. De plus, tel qu'indiqué auparavant, on peut facilement modifier la méthode pour l'adapter aux changements de la répartition d'âges des travailleurs et/ou de la répartition des valeurs de $\bar{C}$ à l'intérieur d'une catégorie donnée de locaux de travail. Avec les autres méthodes proposées, une modification permettant de tenir compte de tels changements exigerait des calculs considérables. Enfin, les autres méthodes proposées ne permettent pas de calculer directement les valeurs de VPI correspondant aux diverses valeurs de RCS_{eff} que l'on obtient à divers postes de travail, dans un local de travail donné. Il faudrait, à cette fin, utiliser des méthodes graphiques d'interpolation entre les valeurs de VPI calculées pour diverses luminances de référence.

As noted in the referenced document, however, there is an arbitrariness about the absolute magnitudes of the values of new VPI since, as noted, the selection of a criterion value of p_d is at least somewhat arbitrary and since this criterion affects the absolute magnitudes of VPI. However, as noted, the choice of p_d criterion has little effect on relative evaluations of different lighting installations. Nonetheless, it should be clearly understood that the relationship between the absolute values of the new VPI and worker productivity has not been established and that rigorous cost-benefit analyses cannot be carried out until such a relationship is known. In point of fact, this statement would have to be made in nearly the same terms if other proposed methods were used in connection with rigorous cost-benefit analyses. Thus, there is little basis for choice between proposed methods on this point.

Cependant, comme le note le document en référence, les valeurs absolues du nouveau VPI sont quelque peu arbitraires car, on l'a vu, le choix d'une valeur-critère de p_d est lui-même quelque peu arbitraire, et que ce critère affecte la valeur absolue de VPI. Cependant, on l'a également vu, le choix du critère p_d a peu d'effet sur l'évaluation relative d'installations d'éclairage différentes. Soulignons cependant que le rapport entre les valeurs absolues de nouveaux VPI d'une part, et d'autre part la productivité des travailleurs, n'a pas été établi, et qu'on ne pourra pas effectuer des analyses coût-bénéfice rigoureuses avant que ce rapport soit connu. Cela s'applique dans pratiquement la même mesure aux autres méthodes proposées, si on voulait les utiliser avec des analyses coût-bénéfice rigoureuses. Sur ce point, il y a donc très peu de choix entre les méthodes proposées.

$\log \tilde{V}_d$	Weighted Values of Worker Age/ Valeurs pondérées de l'âge des travailleurs	Age Decade/ Décennie d'âge				
		20	30	40	50	60
.00	.04899	.08219	.06454	.04130	.01613	.00295
.02	.05777	.09554	.07599	.04970	.02011	.00392
.04	.06759	.11015	.08871	.05929	.02498	.00517
.06	.07846	.12598	.10269	.07011	.03075	.00676
.08	.09039	.14296	.11792	.08219	.03752	.00875
.10	.10337	.16101	.13433	.09554	.04536	.01122
.12	.11737	.18001	.15186	.11015	.05435	.01427
.14	.13235	.19985	.17040	.12598	.06454	.01798
.16	.14825	.22040	.18984	.14296	.07599	.02244
.18	.16500	.24150	.21005	.16101	.08871	.02775
.20	.18254	.26301	.23089	.18001	.10269	.03401
.22	.20075	.28478	.25221	.19985	.11792	.04130
.24	.21955	.30670	.27387	.22040	.13433	.04970
.26	.23886	.32864	.29574	.24150	.15186	.05929
.28	.25857	.35048	.31767	.26301	.17040	.07011
.30	.27858	.37214	.33957	.28478	.18984	.08219
.32	.29883	.39355	.36134	.30670	.21005	.09554
.34	.31922	.41466	.38288	.32864	.23089	.11015

$\log \tilde{V}_d$	Weighted Values of Worker Age/ Valeurs pondérées de l'âge des travailleurs	Age Decade/ Décennie d'âge				
		20	30	40	50	60
.36	.33969	.43543	.40415	.35048	.25221	.12598
.38	.36017	.44586	.42509	.37214	.27387	.14296
.40	.38060	.47592	.44569	.39355	.29574	.16101
.42	.40095	.49564	.46594	.41466	.31767	.18001
.44	.42117	.51501	.48582	.43543	.33957	.19985
.46	.44123	.53407	.50536	.45586	.36134	.22040
.48	.46111	.55283	.52458	.47592	.38288	.24150
.50	.48079	.57130	.54348	.49564	.40415	.26301
.52	.50025	.58952	.56210	.51501	.42509	.28478
.54	.51948	.60748	.58045	.53407	.44569	.30670
.56	.53848	.62520	.59853	.55283	.46594	.32864
.58	.55723	.64267	.61637	.57130	.48582	.35048
.60	.57571	.65989	.63397	.58952	.50536	.37214
.62	.59393	.67685	.65131	.60748	.52458	.39355
.64	.61187	.69352	.66940	.62520	.54348	.41466
.66	.62953	.70988	.68524	.64267	.56210	.43543
.68	.64688	.72593	.70174	.65989	.58045	.45586
.70	.66392	.74162	.71796	.67685	.59853	.47592
.72	.68063	.75692	.73382	.69352	.61637	.49564
.74	.69699	.77181	.74932	.70988	.63397	.51501
.76	.71299	.78625	.76442	.72593	.65131	.53407
.78	.72861	.80023	.77909	.74162	.66840	.55283
.80	.74383	.81372	.79330	.75692	.68524	.57130
.82	.75863	.82669	.80704	.77181	.70174	.58952
.84	.77300	.83912	.82027	.78625	.71796	.60748
.86	.78691	.85101	.83297	.80023	.73382	.62520
.88	.80036	.86233	.84513	.81372	.74932	.64267
.90	.81332	.87310	.85674	.82669	.76442	.65989
.92	.82579	.88328	.86778	.83912	.77909	.67685
.94	.83776	.89291	.87826	.85101	.79330	.69352
.96	.84920	.90197	.88817	.86233	.80704	.70988
.98	.86013	.91047	.89751	.87310	.82027	.73593
1.00	.87054	.91842	.90629	.88328	.83297	.74162
1.02	.88042	.92584	.91451	.89291	.84513	.75692
1.04	.88977	.93274	.92220	.90917	.85674	.77181
1.06	.89861	.93915	.92936	.91047	.86778	.78625
1.08	.90694	.94506	.93601	.91842	.87826	.80023
1.10	.91476	.95052	.94216	.92584	.88817	.81372
1.12	.92209	.95554	.94785	.93274	.89751	.82669

$\log \tilde{V}_d$	Weighted Values of Worker Age/ Valeurs pondérées de l'âge des travailleurs	Age Decade/ Décennie d'âge 20	30	40	50	60
1.14	.92895	.96014	.95308	.93915	.90629	.83912
1.16	.93533	.96434	.95789	.94506	.91451	.85101
1.18	.94127	.96818	.96229	.95052	.92220	.86233
1.20	.94677	.97167	.96630	.95554	.92936	.87310
1.22	.95187	.97483	.96997	.96014	.93601	.88328
1.24	.95656	.97769	.97329	.96434	.94216	.89291
1.26	.96088	.98027	.97630	.96818	.94785	.90197
1.28	.96485	.98260	.97901	.97167	.95308	.91047
1.30	.96848	.98468	.98146	.97483	.95789	.91841
1.32	.97180	.98654	.98367	.97769	.96229	.92584
1.34	.97481	.98821	.98563	.98027	.96630	.93274
1.36	.97756	.98968	.98739	.98260	.96997	.93915
1.38	.98005	.99100	.98897	.98468	.97329	.94506
1.40	.98229	.99217	.99036	.98654	.97630	.95052
1.42	.98432	.99319	.99160	.98821	.97901	.95554
1.44	.98615	.99411	.99269	.98968	.98416	.96014
1.46	.98778	.99490	.99366	.99100	.98367	.96434
1.48	.98925	.99560	.99451	.99217	.98563	.96818
1.50	.99056	.99621	.99526	.99319	.98739	.97167
1.52	.99172	.99675	.99592	.99411	.98897	.97483
1.54	.99277	.99721	.99696	.99490	.99036	.97769
1.56	.99368	.99761	.99699	.99560	.99160	.98027
1.58	.99450	.99796	.99742	.99621	.99269	.98250
1.60	.99522	.99827	.99780	.99675	.99366	.98468
1.62	.99585	.99853	.99812	.99721	.99451	.98654
1.64	.99642	.99875	.99840	.99761	.99526	.98821
1.66	.99690	.99894	.99864	.99796	.99592	.98968
1.68	.99733	.99911	.99885	.99827	.99649	.99100
1.70	.99770	.99925	.99903	.99853	.99699	.99217
1.72	.99803	.99937	.99918	.99875	.99742	.99319
1.74	.99831	.99947	.99931	.99894	.99780	.99411
1.76	.99855	.99955	.99942	.99911	.99812	.99490
1.78	.99876	.99963	.99951	.99925	.99840	.99560
1.80	.99895	.99969	.99960	.99937	.99864	.99621
1.82	.99911	.99974	.99966	.99947	.99885	.99675
1.84	.99924	.99979	.99972	.99955	.99903	.99721
1.86	.99936	.99982	.99976	.99963	.99918	.99761
1.88	.99946	.99985	.99980	.99969	.99931	.99796
1.90	.99954	.99988	.99984	.99974	.99942	.99827

$\log \tilde{V}_d$	Weighted Values of Worker Age/ Valeurs pondérées de l'âge des travailleurs	Age Decade/ Décennie d'âge 20	30	40	50	60
1.92	.99962	.99990	.99987	.99979	.99951	.99853
1.94	.99968	.99992	.99989	.99982	.99960	.99875
1.96	.99973	.99993	.99991	.99985	.99966	.99894
1.98	.99977	.99995	.99993	.99988	.99972	.99911
2.00	.99981	.99996	.99994	.99990	.99976	.99925

Table 3: Visibility Demand Distribution Tables: Weighted Values of Task Demand

Tableau 3: Tableaux de répartition de la demande de visibilité: Valeurs pondérées de l'exigence de la tâche

THE SUGGESTED READING LIST FOR SYMPOSIUM PARTICIPANTS INCLUDES THE FOLLOWING:

1. CIE Technical Committee on Visual Performance (TC-3.1), "An Analytic Model for Describing the Influence of Lighting Parameters upon Visual Performance. Volume I: Technical Foundations; Volume II: Summary and Application Guidelines," **CIE Publication No. 19/2,** International Commission on Illumination, Paris, France, 1981.

2. H.R. Blackwell, "Probabilistic Measures of Visual Performance Potential", Report to Engineering Interface Limited, Willowdale, Ontario, Canada, December 1981.

3. H.R. Blackwell, "A Review of Reactions to CIE Report No. 19/2 Received from the International Lighting and Vision Community", Report to Engineering Interface Limited, Willowdale, Ontario, Canada.

4. H.R. Blackwell and O.M. Blackwell, "Population Data for 140 Normal 20-30 Years Olds for Use in Assessing Some Effects of Lighting upon Visual Peformance". **Journal of the Illuminating Engineering Society,** 9 (3), 158-174, 1980; Paper No. 1 in **1981 Edited Compendium of IERI Technical Data in Support of International Commission on Illumination Publication CIE 19/2,** Illuminating Engineering Research Institute, New York, N.Y., 1981.

5. O.M. Blackwell and H.R. Blackwell, "Individual Responses to Lighting Parameters for a Population of 235 Observers of Varying Ages". **Journal of the Illuminating Engineering Society,** 9 (4), 205-232, 1980; Paper No. 2 in **1981 Edited Compendium of IERI Technical Data in Support of International Commission on Illumination Publication CIE 19/2,** Illuminating Engineering Research Institute, New York, N.Y., 1981.

LA LISTE BIBLIOGRAPHIQUE POUR LES PARTICIPANTS AU COLLOQUE COMPREND:

1. Comité Technique CIE sur la performance visuelle (CT-3.1), "Modèle analytique permettant de décrire l'effet des paramètres d'éclairage sur la performance visuelle. Tome I: Principes techniques; tome II: Sommaire et guide d'application, **"Publication CIE nº 19/2,** Commission Internationale de l'Éclairage, Paris, France, 1981.

2. H.R. Blackwell, "Probabilistic Measures of Visual Performance Potential", rapport à Engineering Interface Limited, Willowdale (Ontario), Canada, décembre 1981.

3. H.R. Blackwell, "A Review of Reactions to CIE Report No. 19/2 Received from the International Lighting and Vision Community", rapport à Engineering Interface Limited, Willowdale (Ontario), Canada.

4. H.R. Blackwell et O.M. Blackwell, "Population Data for 140 Normal 20-30 Years Olds for Use in Assessing Some Effects of Lighting upon Visual Peformance". **Journal of the Illuminating Engineering Society,** 9 (3), 158-174, 1980; article nº 1 dans **1981 Edited Compendium of IERI Technical Data in Support of International Commission on Illumination Publication CIE 19/2,** Illuminating Engineering Research Institute, New York, N.Y., 1981.

5. O.M. Blackwell et H.R. Blackwell, "Individual Responses to Lighting Parameters for a Population of 235 Observers of Varying Ages". **Journal of the Illuminating Engineering Society,** 9 (4), 205-232, 1980; article nº 2 dans **1981 Edited Compendium of IERI Technical Data in Support of International Commission on Illumination Publication CIE 19/2,** Illuminating Engineering Research Institute, New York, N.Y., 1981.

6. H.R. Blackwell, "Description of a Comprehensive Family of Relative Contrast Sensitivity (RCS) Functions of Luminance to Reflect Differences in Size of Task Detail, Task Eccentricity and Observer Age". **Journal of the Illuminating Engineering Society**, 11 (1), 52-63, 1981; Paper No. 3 in **1981 Edited Compendium of IERI Technical Data in Support of International Commission on Illumination Publication CIE 19/2**, Illuminating Engineering Research Institute, New York, N.Y., 1981.

7. H.R. Blackwell and D.J. Sinton, "Accuracy of Steady Ocular Fixation and Speed and Accuracy of Saccadic Eye Movements as a Function of Task Visibility Level". **Journal of the Illuminating Engineering Society**, 11 (1), 35-51, 1981; Paper No. 4 in **1981 Edited Compendium of IERI Technical Data in Support of International Commission on Illumination Publication CIE 19/2**, Illuminating Engineering Research Institute, New York, N.Y., 1981.

8. H.R. Blackwell, "A Comprehensive Quantitative Method for Prediction of Visual Performance Potential as a Function of Reference Luminance". Report to the Illuminating Engineering Research Institute, Institute for Research in Vision, Ohio State University, Columbus, Ohio, January 1981; Paper No. 5 in **1981 Edited Compendium of IERI Technical Data in Support of International Commission on Illumination Publication CIE 19/2**, Illuminating Engineering Research Institute, New York, N.Y., 1981.

6. H.R. Blackwell, "Description of a Comprehensive Family of Relative Contrast Sensitivity (RCS) Functions of Luminance to Reflect Differences in Size of Task Detail, Task Eccentricity and Observer Age". **Journal of the Illuminating Engineering Society**, 11 (1), 52-63, 1981; article n° 3 dans **1981 Edited Compendium of IERI Technical Data in Support of International Commission on Illumination Publication CIE 19/2**, Illuminating Engineering Research Institute, New York, N.Y., 1981.

7. H.R. Blackwell et D.J. Sinton, "Accuracy of Steady Ocular Fixation and Speed and Accuracy of Saccadic Eye Movements as a Function of Task Visibility Level". **Journal of the Illuminating Engineering Society**, 11 (1), 35-51, 1981; article n° 4 dans **1981 Edited Compendium of IERI Technical Data in Support of International Commission on Illumination Publication CIE 19/2**, Illuminating Engineering Research Institute, New York, N.Y., 1981.

8. H.R. Blackwell, "A Comprehensive Quantitative Method for Prediction of Visual Performance Potential as a Function of Reference Luminance". Rapport au Illuminating Engineering Research Institute, Institute for Research in Vision, Ohio State University, Columbus, Ohio, janvier 1981; article n° 5 dans **1981 Edited Compendium of IERI Technical Data in Support of International Commission on Illumination Publication CIE 19/2**, Illuminating Engineering Research Institute, New York, N.Y., 1981.

9. H.R. Blackwell, "Analyses of Twenty Sets of Visual Performance Data in Terms of a Quantitative Method for Prediction of Visual Performance Potential as a Function of Reference Luminance". Report to the Illuminating Engineering Research Institute, Institute for Research in Vision, Ohio State University, Columbus, Ohio, February 1981; Paper No. 6 in **1981 Edited Compendium of IERI Technical Data in Support of International Commission on Illumination Publication CIE 19/2,** Illuminating Engineering Research Institute, New York, N.Y., 1981.

.10 **1981 Edited Compendium of IERI Technical Data in Support of International Commission on Illumination Publication CIE 19/2,** Illuminating Engineering Research Institute, 345 East 47th Street, New York, N.Y., 1981. (Consisting of Items 4-9, above, with Glossary)

.11 **1980 Complete Compendium of IERI Technical Data in Support of International Commission on Illumination Publication CIE 19/2,** Illuminating Engineering Research Institute, 345 East 47th Street, New York, N.Y., 1980.

9. H.R. Blackwell, "Analyses of Twenty Sets of Visual Performance Data in Terms of a Quantitative Method for Prediction of Visual Performance Potential as a Function of Reference Luminance". Rapport au Illuminating Engineering Research Institute, Institute for Research in Vision, Ohio State University, Columbus, Ohio, février 1981; article n° 6 dans **1981 Edited Compendium of IERI Technical Data in Support of International Commission on Illumination Publication CIE 19/2,** Illuminating Engineering Research Institute, New York, N.Y., 1981.

.10 **1981 Edited Compendium of IERI Technical Data in Support of International Commission on Illumination Publication CIE 19/2,** Illuminating Engineering Research Institute, 345 East 47th Street, New York, N.Y., 1981. (Comprenant les articles 4-9, ci-dessu, avec un glossaire.)

.11 **1980 Complete Compendium of IERI Technical Data in Support of International Commission on Illumination Publication CIE 19/2,** Illuminating Engineering Research Institute, 345 East 47th Street, New York, N.Y., 1980.

Mrs. O. Mortenson Blackwell
Institute for Research in Vision
Ohio State University
1314 Kinnear Road
Columbus, Ohio 43212

M^me O. Mortenson Blackwell
Institute for Research in Vision
Ohio State University
1314 Kinnear Road
Columbus, Ohio 43212

ABOUT THE AUTHOR

O. Mortenson Blackwell (Mrs. H. Richard Blackwell) is a basic and applied visual scientist, whose career as such began in 1949 when she joined her husband in the Vision Research Laboratory, University of Michigan. (B.S., University of Michigan, 1948; Postgraduate study, University of Michigan, 1949) Mrs. Blackwell collaborated with her husband in their studies of herido-degenerative diseases of the eye which led to the first definitive proof that narrow-band blue receptor systems exist in the human eye (1954-1960). She moved with her husband to Ohio State University in 1958 and has served the Institute for Research in Vision since that time as Scientist, Senior Scientist, and Project Investigator for the IERI. Mrs. Blackwell has published more than 40 articles, and has received Fellow status in the Optical Society of America, the Illuminating Engineering Society of North America, and the American Academy of Optometry. Mrs. Blackwell served as Secretary, Committee of Experts on Visual Performance, International Commission on Illumination, 1963-1979.

O. Mortenson Backwell and H. Richard Blackwell collaborated on the following position paper.

L'AUTEUR

O. Mortenson Blackwell (M^me H. Richard Blackwell) est un scientifique s'occupant de recherches fondamentales et appliquées en vision. Sa carrière a commencé en 1949 lorsqu'elle s'est associée à son époux au Vision Research Laboratory de l'University of Michigan. Elle a reçu son baccalauréat de la même université en 1948 et son diplôme d'études supérieures en 1949. M^me Blackwell a étudié avec son mari les maladies hérédodégénératives de l'oeil, études qui ont fourni la première preuve de l'existence de récepteurs en bande étroite bleue dans l'oeil human (1954-1960). Elle a suivi son mari à la Ohio State University en 1958 et a travaillé depuis au Institute for Research in Vision, successivement à titre de scientifique, de scientifique principal et de chercheur pour le compte du IERI. M^me Blackwell a publié plus de 40 études et est membre de la Optical Society of America, de l'Illuminating Engineering Society of North America et de l'American Academy of Optometry. Elle a été secrétaire du Comité d'experts de la performance visuelle de la Commission internationale de l'éclairage de 1963 à 1979.

O. Mortenson Blackwell et H. Richard Blackwell présentent conjointement le rapport qui suit.

EFFECTS OF INDIVIDUAL DIFFERENCES ON THE NEED FOR ILLUMINATION AS REVEALED BY THE NEW CIE MODEL*

Lighting engineers now have the information they need to design lighting systems for the people who will actually occupy given work spaces. No longer do they need to use the very unsatisfactory method of estimating the quantity and quality of illumination needed to perform visual tasks on the basis of data for the average 20-30 year old, thanks to recent publication of the International Commission on Illumination (CIE) Report No. 19/2, Volumes I and II, "An Analytic Model for Describing the Influence of Lighting Parameters on Visual Performance". Papers will be appearing soon describing practical methods for taking individual differences among worker groups into account when prescribing lighting systems.

What are these individual differences? Will lighting recommendations be very different if we take them into account? The answer is "yes" even when all the users are 20 to 30 years old and especially if they are older. Norms based on the average 20 to 30 year old pervade lighting practice. Even such conventions as the "safe stopping sight distance" used in roadway lighting practice have such data embedded in them. All of these should now be changed to suit the actual distributions of people involved.

* Presented at the IERI Symposium on Light and Vision, April 20-22, 1981 in Tucson, Arizona.

EFFETS DES DIFFÉRENCES PERSONNELLES SUR LE BESOIN D'ÉCLAIREMENT, TEL QUE RÉVÉLÉ PAR LE NOUVEAU MODÈLE CIE*

Les éclairagistes disposent aujourd'hui des renseignements nécessaires afin de concevoir des systèmes d'éclairage pour les gens qui vont effectivement occuper les locaux de travail en question. Les ingénieurs n'ont plus à employer la méthode très insatisfaisante qui consistait à évaluer la quantité et la qualité de l'éclairement nécessaire pour exécuter des tâches visuelles, basé sur des données pour la personne moyenne âgée de 20 à 30 ans, et ce grâce à la récente publication du rapport nº 19/2, tomes I et II, de la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE): "Modèle analytique décrivant l'influence des paramètres d'éclairage sur la performance visuelle". Des articles seront publiés sous peu pour décrire des méthodes pratiques permettant de tenir compte des différences individuelles entre groupes de travailleurs, lors de la conception de systèmes d'éclairage.

Quelles sont donc ces différences individuelles? Les recommandations en matière d'éclairage seront-elles très différentes si l'on tient compte de ces différences? On doit ici répondre dans l'affirmative, même lorsque tous les utilisateurs sont âgés de 20 à 30 ans, et à plus forte raison si les utilisateurs sont plus âgés. La pratique de l'éclairagisme est régie en grande partie par des normes basées sur la personne moyenne âgée de 20 à 30 ans. Même les conventions telles la "distance de vision sécuritaire pour l'arrêt", utilisées dans l'éclairage routier, contiennent de telles données. On devra maintenant changer tout cela pour l'adapter aux répartitions effectives des gens en question.

* Présenté au symposium IERI sur la lumière et la vision, les 20-22 avril 1981, à Tucson (Arizona).

Brief Description of CIE Model

In order to discuss the effects of light on the visual performance of individual members of the working population as revealed by the CIE model, it is necessary to describe briefly its basic structure. The CIE model is a generalized system for describing the visual performance which can be expected under different lighting conditions. In developing such a generalized system it was essential that individual differences in response to lighting parameters be taken into account. This was done using the best knowledge that could be obtained. (The model is constructed in such a way that new data can be introduced at any time it becomes available.) In essence the model first describes the effect of visibility on visual performance. Thus, to describe the effect of light upon visual performance, we must go from light to visibility and from visibility to visual performance.

Visibility can be described in terms of visibility level, and, therefore, visibility level, VL, is the key concept of the CIE system. Visibility level can be most simply defined as C, the contrast of the task visual display, divided by $\bar{C}$, the contrast at which the task visual display is at the borderline between visibility and invisibility, i.e., at the visibility threshold; $VL = C/\bar{C}$. It follows then that differences in $\bar{C}$ for different individuals or observer groups will change the visibility level and thus in turn change visual performance. This is the sole reason we have found for the changes in visual performance with age capable of being affected by lighting parameters.

Brève description du modèle CIE

Pour discuter des effets de la lumière sur la performance visuelle de chaque travailleur, tel que révélé par le modèle CIE, il faut d'abord décrire succinctement sa structure fondamentale. Le modèle CIE est un système généralisé permettant de décrire la performance visuelle à laquelle on peut s'attendre dans diverses conditions d'éclairage. Lors de l'élaboration d'un tel système généralisé, il importait de tenir compte des différences individuelles en ce qui concerne la réaction aux paramètres de l'éclairage. Pour ce faire, on a utilisé les meilleures connaissances que l'on pouvait obtenir. (Le modèle est conçu de telle façon que l'on puisse introduire de nouvelles données dès qu'elles deviennent disponibles). En bref, le modèle décrit d'abord l'effet de la visibilité sur la performance visuelle. Ainsi, pour décrire l'effet de la lumière sur la performance visuelle, nous devons aller de la lumière à la visibilité, puis de la visibilité à la performance visuelle.

On peut décrire la visibilité en termes du niveau de visibilité; le niveau de visibilité (VL = Visibility Level) est le concept-clé du système CIE. Selon sa définition la plus simple, le niveau de visibilité est C, le contraste de l'affichage visuel de la tâche, divisé par $\bar{C}$, le contraste auquel l'affichage visuel de la tâche est à la limite entre la visibilité et l'invisibilité, c.-à-d. au seuil de visibilité; $VL = C/\bar{C}$. Il s'ensuit que des écarts de $\bar{C}$ chez divers individus ou groupes d'observateurs modifieront le niveau de visibilité et donc la performance visuelle. C'est là la seule raison que nous avons trouvée pour les changements de performance visuelle selon l'âge de la personne, qui sont susceptibles d'être affectés par les paramètres d'éclairage.

Relative Visual Performance as a Function of Age

The model uses these concepts and describes calculational procedures by which we can proceed from light via visibility to visual performance and finally arrive at what we have always wanted to know; namely, how light affects visual performance. The resultant quantitative outputs of the model which most clearly show us the effect of age on the need for light for visual performance are the graphs and tables relating relative visual performance to relative luminance or illuminance. Figure 1 is one example of such graphs. On the ordinate is plotted relative visual performance. This means that the curve for each observer is plotted relative to the maximum visual performance achievable at very large values of visibility level. We use relative visual performance as a function of luminance as our measure of visual performance efficiency since our interest here is in the maximum visual performance which lighting can provide, or, to express it another way, the model gives a quantitative description of the effects of lighting parameters upon visual performance potential, a measure of the maximum visual performance which can ever occur under various lighting situations.

Plotted on the double scale on the abscissa are reference luminance and reference illuminance. These quantities are merely the actual luminance or illuminance under reference lighting, which is diffuse and unpolarized illuminance from Standard Illumant A together with a field of uniform luminance. This merely provides a standard baseline against which to compare real lighting systems. Real lighting systems can be equated to reference lighting by the use of three factors, each of which is a ratio of visibility under different conditions. The factors are CRF, the contrast rendering factor, DGF, the disability glare factor, and TAF, the transient adaptation factor. The interrelations between these factors and the age of the observers will be discussed subsequently.

Performance visuelle relative en fonction de l'âge

Le modèle utilise ces concepts et décrit le procédé de calcul qui permet d'aller de la lumière à la performance visuelle, en passant par la visibilité, pour en arriver enfin à ce qu'on voulait vraiment savoir: l'effet de la lumière sur la performance visuelle. Les résultats quantitatifs du modèle qui nous indiquent le plus clairement l'effet de l'âge sur le besoin de lumière pour la performance visuelle, ce sont les graphiques et les tableaux qui établissent le lien entre la performance visuelle relative et l'éclairement ou la luminance relative. La figure 1 est un exemple d'un tel graphique. En ordonnée, on a tracé la performance visuelle relative; cela signifie que l'on a tracé la courbe pour chaque observateur en fonction de la performance visuelle maximale réalisable à des niveaux de visibilité très élevés. En tant que mesure de l'efficacité de performance visuelle, nous utilisons la performance visuelle relative en fonction de la luminance, car ce qui nous intéresse ici, c'est la performance visuelle maximale que l'éclairage peut assurer; autrement dit, le modèle donne une description quantitative de l'effet des paramètres d'éclairage sur le potentiel de performance visuelle, c.-à-d. une mesure de la performance visuelle maximale que l'on peut réaliser dans diverses situations d'éclairage.

Sur l'échelle double, en abscisse, on a placé la luminance de référence et l'éclairement de référence. Ces quantités sont tout simplement la luminance ou l'éclairement réels sous un éclairage de référence, qui est l'éclairement diffus et non polarisé de l'illuminance A standard, avec un champ de luminance uniforme. Ceci permet d'obtenir une référence standard à laquelle on puisse comparer par la suite les systèmes d'éclairage réel. Les systèmes d'éclairage réels peuvent être comparés à l'éclairage de référence au moyen de trois facteurs, dont chacun est un rapport de visibilité dans des conditions différentes. Ces facteurs sont le facteur de rendu du contraste (CRF = Contrast Rendering Factor), le facteur d'éblouissement perturbateur (DGF = Disturbing Glare Factor), et le facteur d'adaptation transitoire (TAF = Transient Adaptation Factor). Nous allons examiner plus loin les rapports entre ces facteurs et l'âge des observateurs.

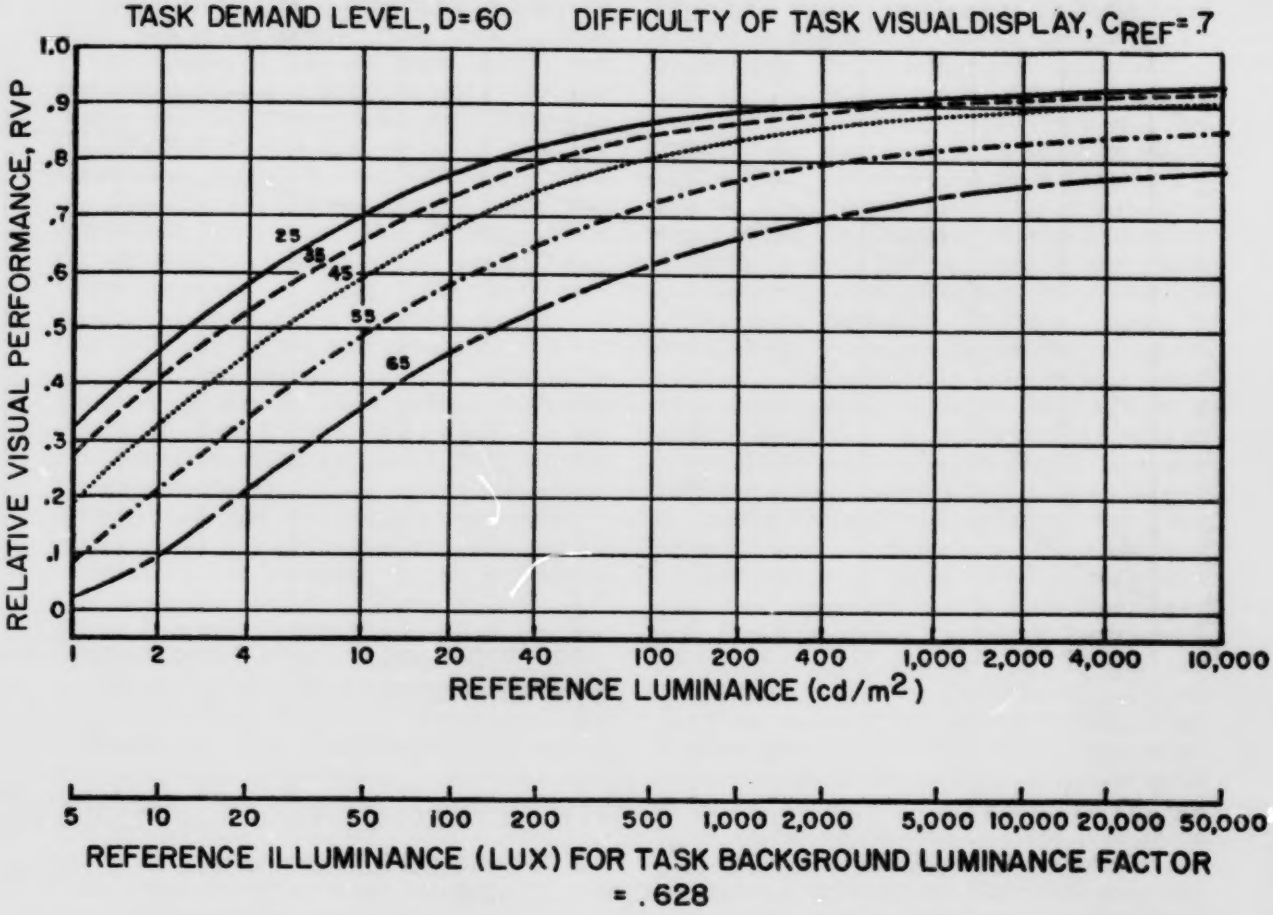

TASK DEMAND LEVEL, D=60
DIFFICULTY OF TASK VISUALDISPLAY, C_{REF}=.7
RELATIVE VISUAL PERFORMANCE, RVP
1.0
.9
.8
.7
.6
.5
.4
.3
.2
.1
0
25
35
45
55
65
1
2
4
10
20
40
100
200
400
1,000
2,000
4,000
10,000
REFERENCE LUMINANCE (cd/m²)
5
10
20
50
100
200
500
1,000
2,000
5,000
10,000
20,000
50,000
REFERENCE ILLUMINANCE (LUX) FOR TASK BACKGROUND LUMINANCE FACTOR = .628

FIGURE 1

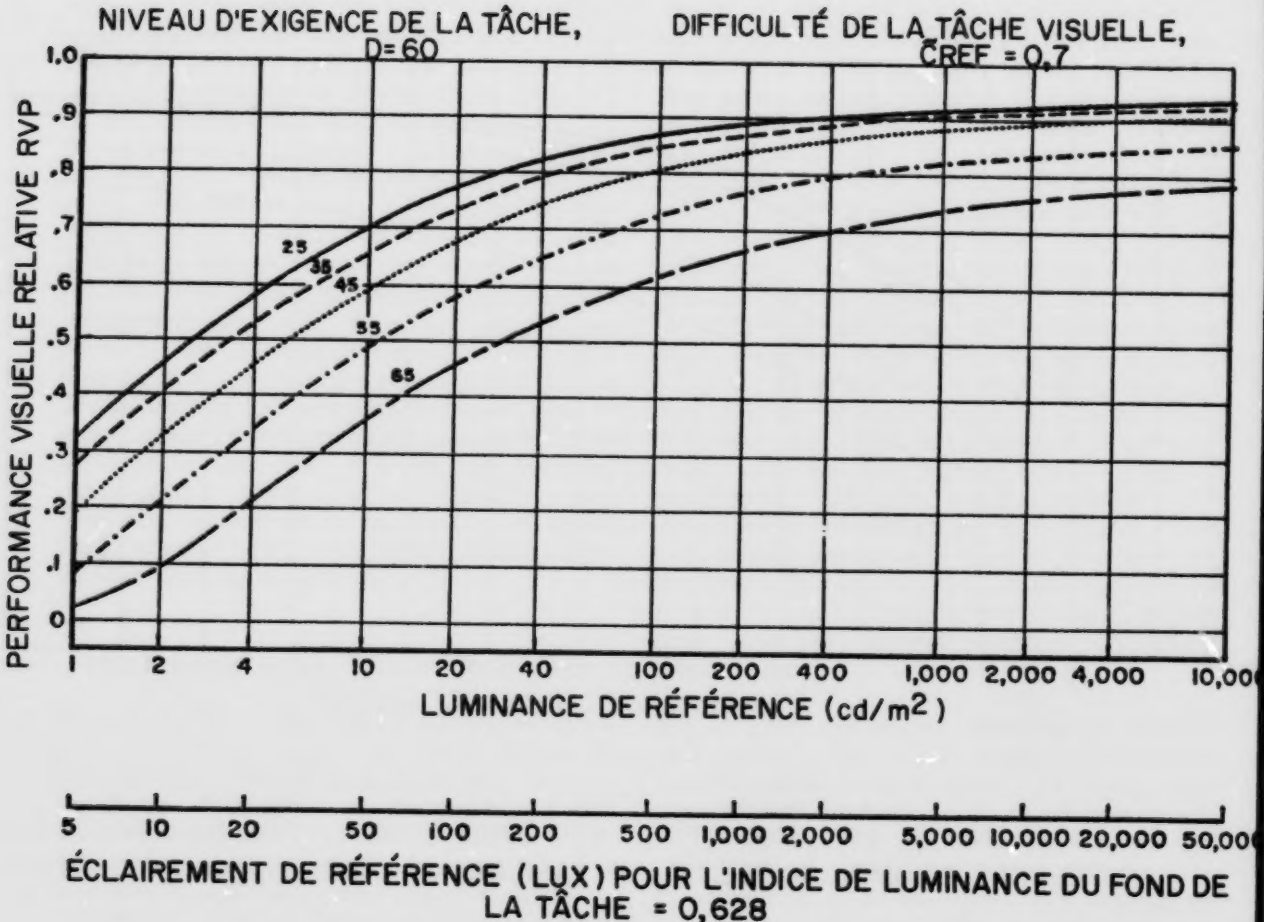

NIVEAU D'EXIGENCE DE LA TÂCHE, D=60
DIFFICULTÉ DE LA TÂCHE VISUELLE, CREF = 0,7
PERFORMANCE VISUELLE RELATIVE RVP
1.0
.9
.8
.7
.6
.5
.4
.3
.2
.1
0
25
35
45
55
65
1
2
4
10
20
40
100
200
400
1,000
2,000
4,000
10,000
LUMINANCE DE RÉFÉRENCE (cd/m2)
5
10
20
50
100
200
500
1,000
2,000
5,000
10,000
20,000
50,000
ÉCLAIREMENT DE RÉFÉRENCE (LUX) POUR L'INDICE DE LUMINANCE DU FOND DE LA TÂCHE = 0,628

FIGURE I

The model identifies three parameters which influence the relationship between light and visual performance. These are task demand level, D, the difficulty of the task visual display, $\tilde{C}_{ref}$, and age. Since our primary interest here is in the effect of age on relative visual performance, we have selected average values of the other two parameters in order to illustrate the effects of age. Task demand level, D, is a measure of the difficulty of the dynamic conditions under which the observer must view the task visual display. It includes such task conditions as the degree to which the eye must search and scan and pick up information off the line of sight. For our illustrative graph we have selected a value of task demande level D = 60 since this represents the middle value of those found for all interior lighting visual performance tasks studied. $\tilde{C}_{ref}$, the reference equivalent contrast, is merely a measure of the difficulty of the task visual display. It includes the effect of the luminance contrast of the details together with the effect of other factors such as the size and configuration which influence their overall intrinsic visibility. $\tilde{C}_{ref}$ equals the actual contrast of the reference task used to match it in a visibility meter and can be substituted for contrast, C, in computing the visibility level. Then $VL = \tilde{C}_{ref}/\bar{C}$ where $\bar{C}$ is the threshold visibility. For our illustrative graph we have selected a value of the difficulty of the task visual display, $\tilde{C}_{ref} = .7$ since this value represents the midpoint of the distribution of values measured by Henderson, McNelis, and Williams[2] in interior lighting work environments. Thus, the results shown in Figure 1 are the model parameters D and $\tilde{C}_{ref}$ representing average interior lighting visual performance conditions

Le modèle définit trois paramètres qui influent sur la relation entre la lumière et la performance visuelle: le niveau de demande ou d'exigence de la tâche D, la difficulté d'affichage visuel de la tâche $\tilde{C}_{ref}$, et l'âge. Étant donné que nous nous intéressons ici surtout à l'effet de l'âge sur la performance visuelle relative, nous avons choisi des valeurs moyennes des deux autres paramètres afin d'illustrer les effets de l'âge. Le niveau d'exigence de la tâche D indique le degré de difficulté des conditions dynamiques dans lesquelles l'observateur doit voir la tâche visuelle. Le degré auquel l'oeil doit chercher et trouver des informations éloignées de la ligne de visée, figure parmi les conditions de la tâche. Aux fins de notre graphique d'illustration, nous avons choisi une valeur du niveau d'exigence de la tâche de D = 60, puisqu'elle représente la valeur moyenne de toutes les tâches de performance visuelle étudiées dans le domaine de l'éclairage d'intérieur. $\tilde{C}_{ref}$, le contraste équivalent de référence, indique tout simplement le degré de difficulté de la tâche visuelle. Il comprend l'effet du contraste de luminance des détails ainsi que l'effet d'autres facteurs tels la grandeur et la configuration, qui influent sur leur visibilité intrinsèque globale. $\tilde{C}_{ref}$ équivaut au contraste réel de la tâche de référence qui lui est appariée dans un visibilimètre, et peut être substitué à la place du contraste C lorsqu'on veut calculer le niveau de visibilité. Nous avons alors $VL = \tilde{C}_{ref}/\bar{C}$, où $\bar{C}$ est la visibilité au seuil (liminal). Pour illustrer graphiquement la chose, nous avons choisi une valeur du degré de difficulté de la tâche visuelle de $\tilde{C}_{ref} = 0,7$, parce que cette valeur représente le point médian de la répartition de valeurs mesurées par Henderson, McNelis et Williams[2] dans des milieux de travail possédant un éclairage d'intérieur. Les résultats de la figure 1 concernent donc les paramètres D et $\tilde{C}_{ref}$ du modèle qui représentent les conditions de performance visuelle moyennes sous un éclairage d'intérieur.

The five curves on the graph, then, show relative visual performance as a function of reference luminance or illuminance in descending order for an average 25, 35, 45, 55 and 65 year old. From the graph we draw the following conclusions. Relative visual performance as a function of reference luminance or illuminance decreases with increasing age at all light levels. Moreover, an increase in reference luminance produces more increase in relative visual performance the older the observer. Of course, the reverse is true. If the light level is reduced, the older observer loses relatively more visual performance the older he is. Although this graph is constructed with selected values of the other two parameters affecting relative visual performance as a function of reference luminance, CIE Report 19/2[1] contains graphs and tabular values for all three parameters covering 95 per cent of those found in the practical visual performance tasks studied. In all of these, the relative order of the curves for average observers of different age remains the same.

Les cinq courbes du graphique indiquent la performance visuelle relative en fonction de la luminance ou de l'éclairement de référence, par ordre descendant, pour une personne moyenne âgée de 25, 35, 45, 55 ou 65 ans. Ce graphique nous permet de tirer les conclusions suivantes: la performance visuelle relative en fonction de la luminance ou de l'éclairement de référence diminue, à tous les niveaux de lumière, à mesure que l'âge des observateurs augmente. De plus, une augmentation de la luminance de référence fait augmenter la performance visuelle relative d'autant plus vite que l'observateur est plus âgé. L'inverse, bien sûr, est également vrai, c.-à-d. que si l'on réduit le niveau de lumière, l'observateur plus âgé subit une perte relativement plus forte de performance visuelle. Bien que ce graphique ait été établi au moyen de valeurs choisies des deux autres paramètres qui influent sur la performance visuelle relative en fonction de la luminance de référence, le rapport CIE 19/2[1] contient des graphiques et des tableaux de valeurs pour les trois paramètres couvrant 95 pour cent de celles que l'on retrouve dans les tâches de performance visuelle pratiques étudiées. Dans toutes ces études, l'ordre relatif des courbes pour l'observateur moyen des divers groupes d'âges reste le même.

Causes of Loss in Relative Visual Performance with Increasing Age

Why do older observers have poorer relative visual performance as a function or reference luminance or illuminance than young people? To describe the reasons for these losses in relative visual performance with age, we must return to that keystone of the CIE system, namely, visibility. Recall that light provides visibility and visibility in turn provides visual performance. It turns out that the effect of aging on relative visual performance can be found in the relationship between light and visibility for people of varying age.

Raisons d'une perte de performance visuelle relative à mesure que l'on vieillit

Pourquoi les observateurs plus âgées ont-ils une performance visuelle relative moins bonne, en fonction de la luminance ou de l'éclairement de référence, que les jeunes gens? Pour préciser les raisons de cette perte de performance visuelle relative avec l'âge, nous devons revoir cette véritable clé de voûte du système CIE qu'est la visibilité. Rappelons que la lumière permet la visibilité, et que la visibilité, à son tour, permet d'obtenir une performance visuelle. Il se trouve que l'effet du vieillissement sur la performance visuelle relative est dû au rapport entre la lumière et la visibilité pour les gens de divers âges.

Before we describe the facts that we have used in the model, let us describe briefly how they were obtained. (The complete details of this IERI-sponsored research have been published in JIES[3,4]. A summary of the results can be found in CIE Report 19/2[1].) We should first point out that the CIE model was initially developed from extensive data on a large population of 20-30 year old observers. This population consisted of university students who were carefully examined for general health, and eye health in particular, and on whom careful refractive and other optometric tests were carried out prior to the conduct of our studies. We have designated this population the reference population and have designated a hypothetical observer having the average values of visibility and visual performance obtained by the reference population as the reference observer. This was done to provide a baseline against which to compare all other observers.

Avant de présenter les faits que nous avons utilisés dans le modèle, décrivons d'abord brièvement la façon dont ils ont été obtenus. (Tous les détails de cette recherche parrainée par le IERI ont été publiés dans JIES[3,4]. On trouvera un résumé des résultats dans le rapport CIE 19/2[1].) Notons d'abord que le modèle CIE a été élaboré à l'origine à partir de nombreuses données sur une grande population d'observateurs âgés de 20-30 ans. Cette population était composée d'étudiants universitaires dont on avait soigneusement examiné l'état de santé général, et l'état de santé oculaire en particulier, et qui avaient été soumis à des tests réfractifs et à d'autres tests optométriques minutieux avant que soient entreprises nos études. Nous avons désigné cette population comme population de référence ou témoin; nous avons également désigné, en tant qu'observateur de référence, un observateur hypothétique présentant les valeurs moyennes de visibilité de performance visuelle obtenues pour la population de référence, et ce pour créer un étalon auquel on puisse comparer tous les autres observateurs.

To determine the effect of age on visual performance, a population of 136 ordinary "off-the-street" observers varying in age from 20-79 years was studied using a battery of psychophysical tests presented in an instrument called the Light and Vision Tester developed for the purpose from the previous extensive research on the reference population[3]. We excluded from the study any observer who reported upon direct questioning the existence of any known significant ocular or functional visual abnormality. The observers wore any corrective lenses they normally used. In addition, data on a reference population of 99 observers (age 20-30) provided the based for the comparison of the data from the off-the-street observers of varying ages under identical conditions of measurement. It was determined that there was no significant difference between the 20-30 year old observers in the off-the-street population and the reference population. Therefore, all the data in the off-the-street population were analyzed in terms of the effect of age on each of the model parameters tested.

Afin de déterminer l'effet de l'âge sur la performance visuelle, on a étudié une population de 136 observateurs ordinaires âgés de 20 à 79 ans, au moyen d'une série de tests psycho-physiques incorporés dans un instrument de mesure "de la lumière et de la vision" mis au point spécialement à cette fin, basé sur les vastes recherches antérieures sur la population témoin[3]. Nous avons exclu de l'étude tout observateur qui, interrogé à ce sujet, a indiqué qu'il souffrait d'une anormalité visuelle (soit oculaire, soit fonctionnelle), significative. Les observateurs portaient, pendant le test, les lunettes correctives qu'ils utilisaient normalement. De plus, les données sur une population de référence comprenant 99 observateurs (âgés de 20 à 30 ans) ont servi de référence pour comparer les données des observateurs ordinaires, de divers âges, dans des conditions de mesure identiques. On a constaté qu'il n'y avait pas d'écart significatif entre les observateurs âgés de 20 à 30 ans qui appartenaient à la population ordinaire et ceux qui appartenaient à la population témoin. Toutes les données sur la population ordinaire ont donc été analysées en termes de l'effet de l'âge sur chacun des pramètres du modèle examiné

With this preamble, let us return from the answer to the question: "Why do older observers have poorer relative visual performance as a function of reference luminance or illuminance than our 20-30 year old reference population?" The results of our research indicate that the fundamental reason is that light simply does not provide as much visibility to the older observer. Since visual performance depends on visibility, it follows that the older observer cannot perform as well as the younger observer if he is given the same luminance. This can be illustrated as follows. Recall that the CIE model describes the amount of visibility in terms of the visibility level, VL. Recall that VL equals C, the contrast of the visual display, divided by $\bar{C}$, the contrast at which the task visual display is at the borderline between visibility and invisibility, i.e., the visibility threshold. The results of our research showed that threshold visibility, $\bar{C}$, increases with age. This signifies a loss in contrast sensitivity as a function of age. Therefore, it follows from the formula that the visibility level will be smaller for the older observer when the contrast of the task visual display and the reference luminance are fixed.

How big an effect is this? One way to answer this question can be seen in Figure 2. Here we have used our hypothetical reference observer as a baseline and show by how much one must multiply $\bar{C}$, the visibility threshold, to take account of the effects of age. Plotted on the graph are the values of this visibility threshold multiplier for individual observers representing the mean of 10-year age groups. It is obvious that there is a substantial increase in visibility threshold with age, which leads to a general loss in visibility. In detail, we can see that there is a change at about age 44 which results in an increase in the rate of loss of visibility with age and an additional change in the rate of visibility loss at about 64. Formulae have been developed to allow this multiplier m_1 to be used when the age of an observer in a lighting situation is greater than 20 years.

Après ce préambule, revenons donc à la question: "Pourquoi les observateurs plus âgés ont-ils une performance visuelle relative en fonction de la luminance ou de l'éclairement de référence moins bonne que notre population témoin âgée de 20 à 30 ans?" D'après les résultats de notre recherche, c'est essentiellement parce que la lumière ne donne tout simplement pas autant de visibilité aux observateurs plus âgés. Comme la performance visuelle dépend de la visibilité, il s'ensuit que l'observateur plus âgé ne peut pas s'exécuter aussi bien que l'observateur plus jeune, lorsqu'on lui donne la même luminance. On peut illustrer ce fait comme suit: rappelons que le modèle CIE décrit le degré de visibilité en termes du niveau de visibilité VL. Rappelons également que VL égale C, le contraste de la tâche visuelle, divisé par $\bar{C}$, le contraste auquel la tâche visuelle est à la limite entre la visibilité et l'invisibilité, c.-à-d. au seuil de visibilité. D'après les résultats de nos recherches, le seuil de visibilité $\bar{C}$ augmente avec l'âge, ce qui signifie une perte de sensibilité différentielle en fonction de l'âge. Il s'ensuit donc de cette formule que le niveau de visibilité sera plus faible pour l'observateur plus âgé lorsque le contraste de la tâche visuelle et la luminance de référence sont fixes.

Quelle est donc la grandeur de cet effet? La figure 2 indique une façon de répondre à cette question. Ici, nous nous sommes servis de notre observateur de référence hypothétique en tant qu'étalon, et nous indiquons par combien il faut multiplier le seuil de visibilité $\bar{C}$, pour tenir compte des effets de l'âge. Le graphique présente les valeurs de ce facteur de multiplication du seuil de visibilité pour chaque observateur représentant la moyenne des groupes d'âge de 10 ans. On voit toute de suite qu'il y a une augmentation considérable du seuil de visibilité avec l'âge, ce qui entraîne une perte généralisée de visibilité. Après un examen plus détaillé, on constate qu'il y a un changement à l'âge de 44 ans environ, notamment une augmentation du taux de perte de visibilité avec l'âge, et un changement supplémentaire du taux de perte de visibilité à l'âge de 64 ans environ. Nous avons élaboré des formules permettant d'utiliser ce multiplicateur m_1 lorsque l'âge d'un observateur, dans une situation d'éclairage donnée, dépasse 20 ans.

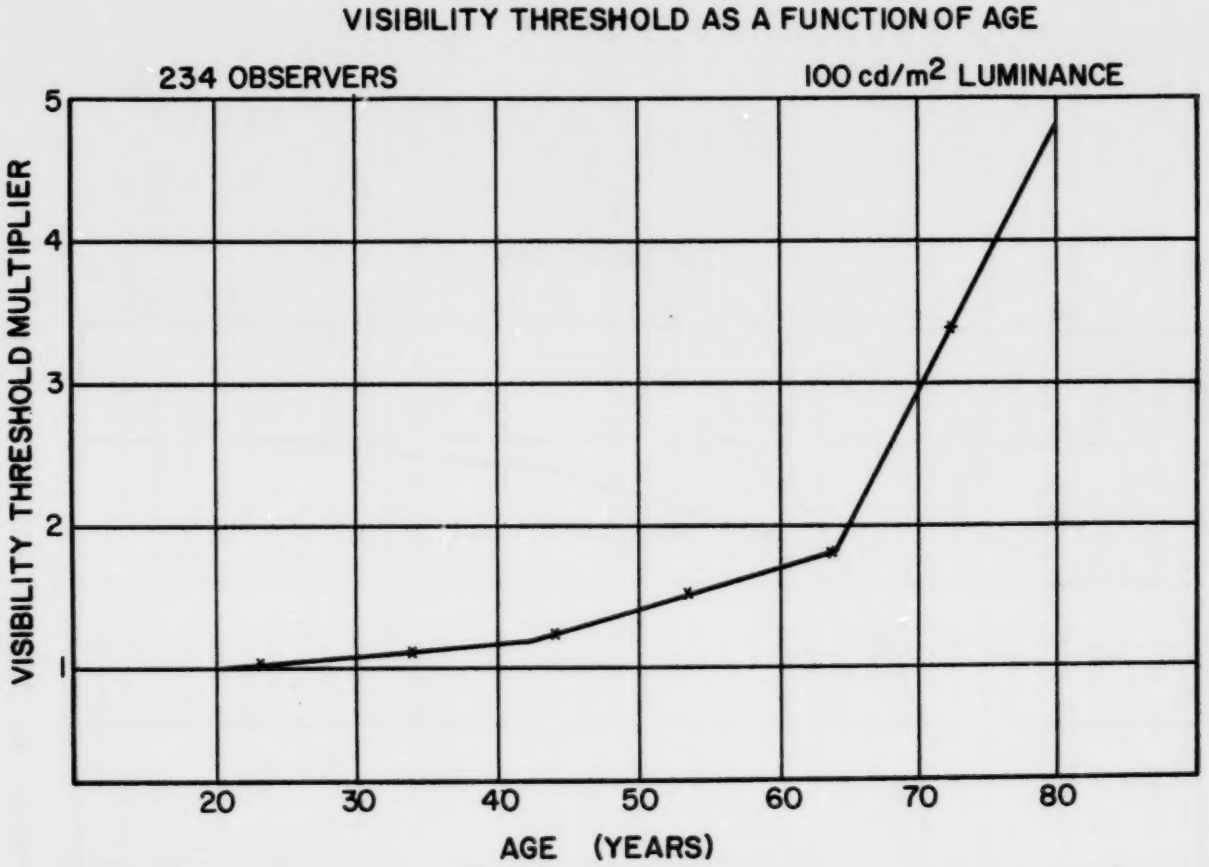

VISIBILITY THRESHOLD AS A FUNCTION OF AGE
234 OBSERVERS
100 cd/m2 LUMINANCE
VISIBILITY THRESHOLD MULTIPLIER
5
4
3
2
1
20
30
40
50
60
70
80
AGE (YEARS)

FIGURE 2

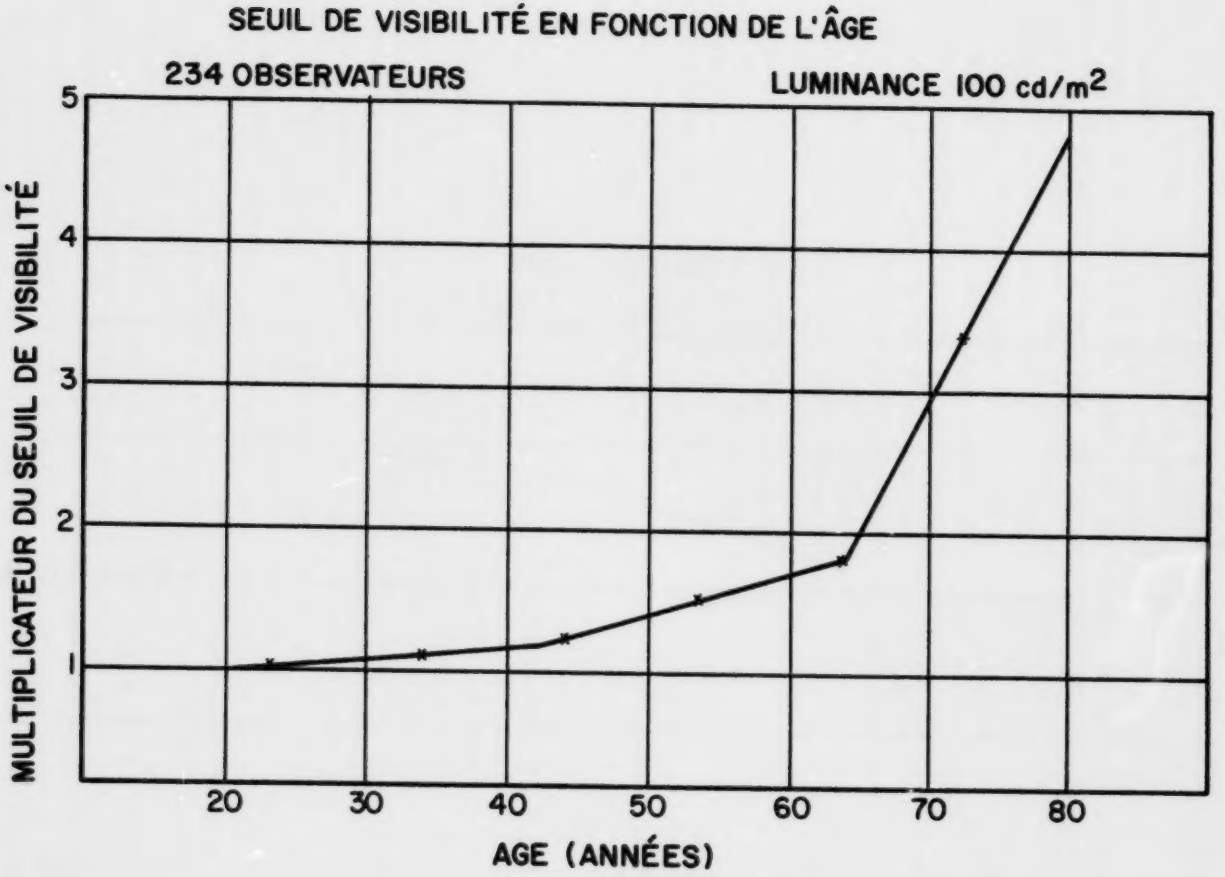

SEUIL DE VISIBILITÉ EN FONCTION DE L'ÂGE
234 OBSERVATEURS
LUMINANCE 100 cd/m2
MULTIPLICATEUR DU SEUIL DE VISIBILITÉ
5
4
3
2
1
20
30
40
50
60
70
80
AGE (ANNÉES)

FIGURE 2

Increase in Percentage Stray Light at Interior Lighting Levels

Now we know that the reason older observers have poorer relative visual performance is because they have less visibility. Why does light provide them with less visibility? To investigate the answer to this question, we made further psychophysical measurements, the first of which was to obtain a measure of scattered light in the eye as a function of age. Figure 3 shows percentage stray light as a function of age in the following situation. Suppose the observer is surrounded by an entirely uniform bright field and he is looking at a 2-degree black hole in the center which resembles the mouth of a tunnel. Then, in effect, for the reference observer 7.4 per cent of the light from the entire field falls into the black hole. This reduces the contrast of any object located in the black hole by 7.4 per cent for the average of our 99 reference observers, a value which agrees precisely with the accepted estimate for his age group in the scientific literature.

The graph shows how much more stray light is produced in the eye as age increases above about 44 years, and, consequently, how much more the contrast of the ocular image of the task visual display will be reduced. At about age 64 there is a change in the rate of increase in stray light with increasing age. These measurements of stray light were made at a reference luminance of 100 cd/m^2 (approximately 40 fc of illumination), a luminance of interest in interior lighting applications.

Majoration du pourcentage de lumière parasite aux niveaux d'éclairement d'intérieur

Nous savons maintenant que si les observateurs plus âgés ont une performance visuelle relative moins bonne, c'est parce qu'ils ont moins de visibilité. Pourquoi est-ce que la lumière leur donne moins de visibilité? Afin de trouver la réponse à cette question, nous avons fait des mesures psycho-physiques supplémentaires; tout d'abord, nous avons mesuré la lumière diffusée dans l'oeil en fonction de l'âge. La figure 3 présente le pourcentage de lumière parasite en fonction de l'âge, dans la situation suivante: supposons que l'observateur est entouré d'un champ lumineux totalement uniforme, et qu'il regarde, au centre du champ, un trou noir de 2 degrés qui ressemble à l'entrée d'un tunnel. À ce moment-là, pour l'observateur de référence, 7,4 pour cent de la lumière de tout le champ tombe dans le trou noir. Ceci réduit le contraste de tout objet situé dans le trou noir de 7,4 pour cent pour la moyenne de nos 99 observateurs de référence, valeur qui coïncide exactement avec la valeur estimative acceptée, dans la littérature scientifique, pour ce groupe d'âge.

Le graphique indique la quantité supplémentaire de lumière parasite produite dans l'oeil à mesure que l'âge augmente au-delà de 44 ans, et par conséquent la réduction du contraste de l'image oculaire de la tâche visuelle. À l'âge de 64 ans environ, il se produit un changement du taux d'augmentation de la lumière parasite en fonction de l'augmentation d'âge. Ces mesures de la lumière parasite ont été effectuées à une luminance de référence de 100 cd/m^2 (environ 40 fc d'éclairement), une luminance qui présente un certain intérêt pour les applications d'éclairage d'intérieur.

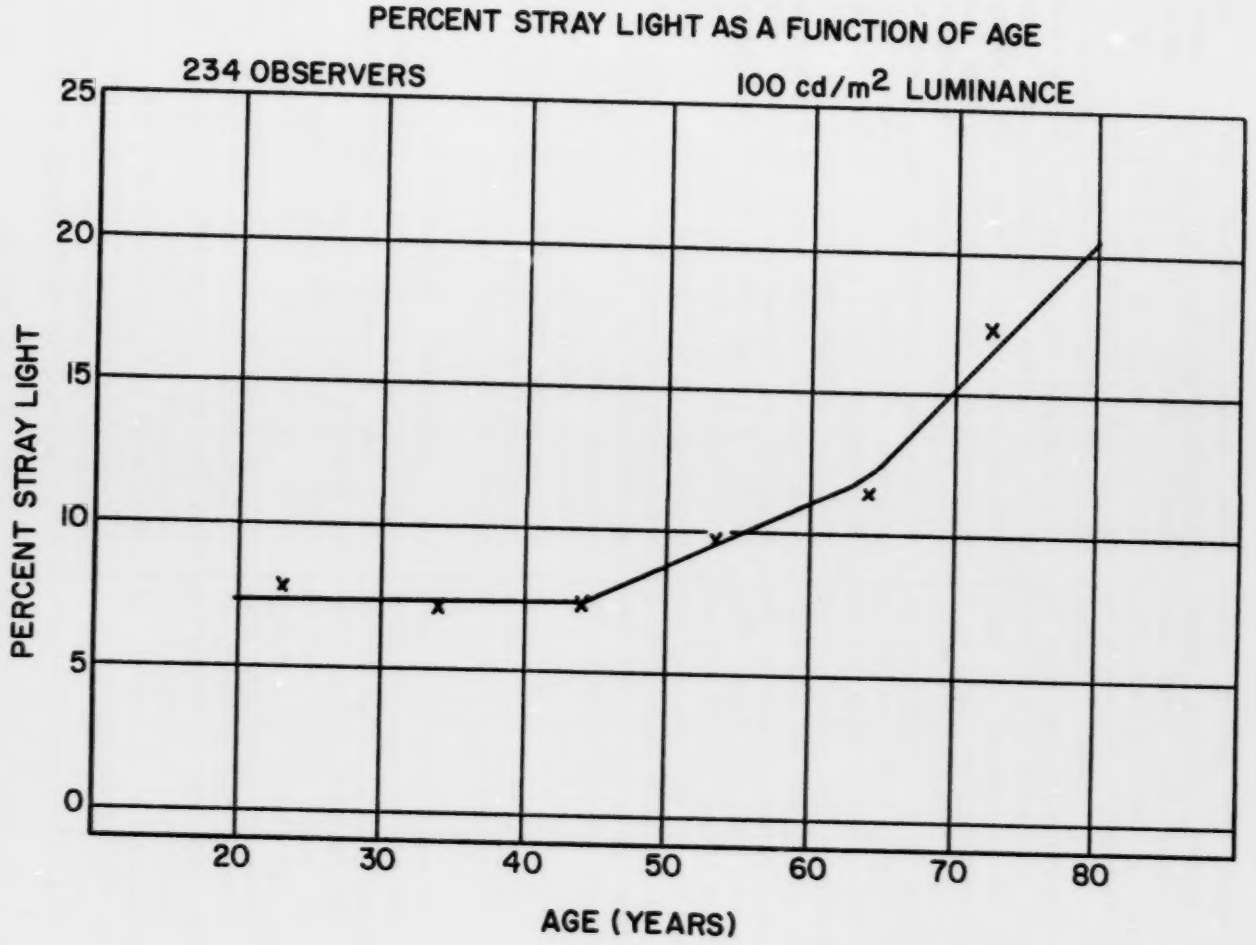

PERCENT STRAY LIGHT AS A FUNCTION OF AGE
234 OBSERVERS
100 cd/m2 LUMINANCE
PERCENT STRAY LIGHT
25
20
15
10
5
0
20
30
40
50
60
70
80
AGE (YEARS)

FIGURE 3

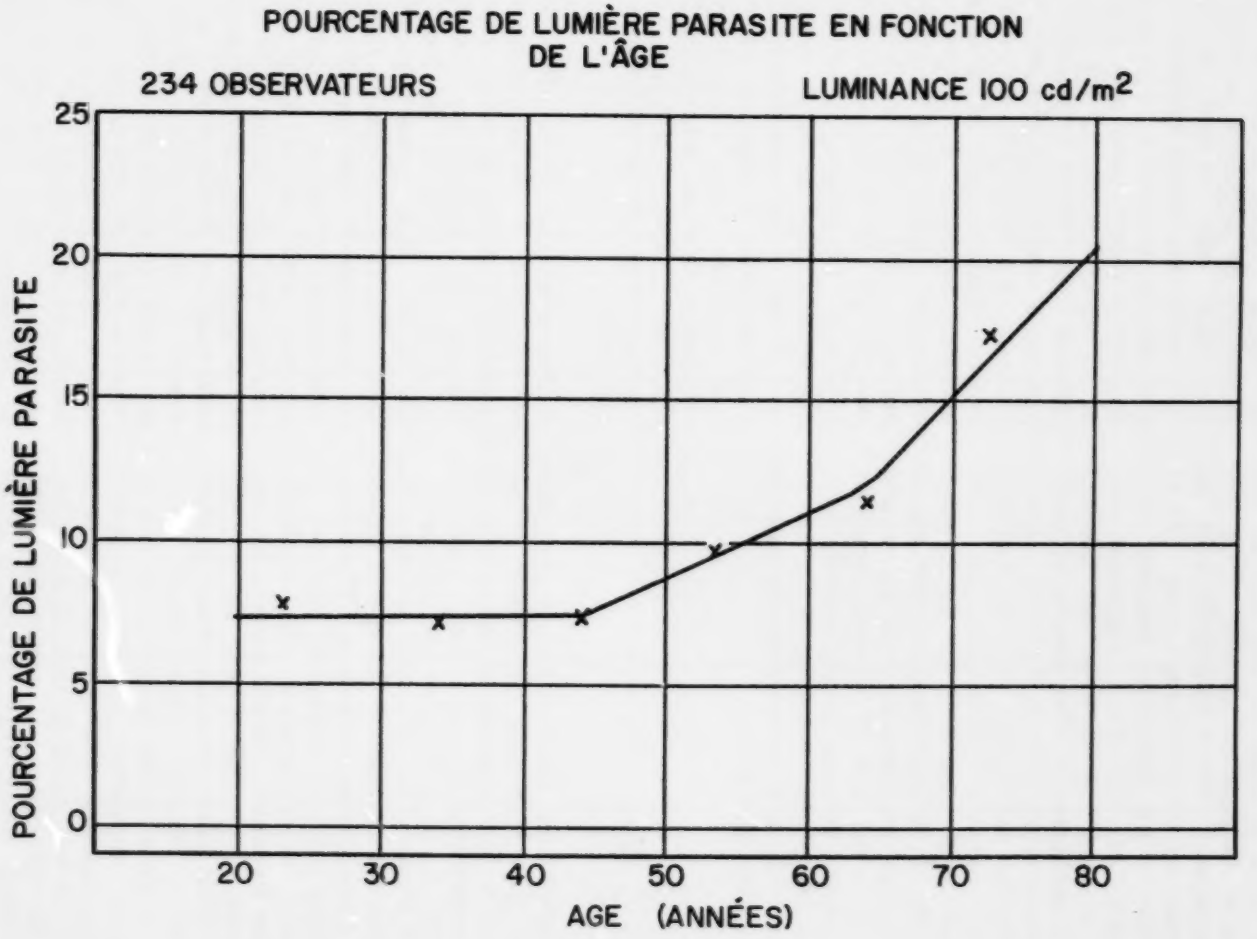

POURCENTAGE DE LUMIÈRE PARASITE EN FONCTION DE L'ÂGE
234 OBSERVATEURS
LUMINANCE 100 cd/m2
POURCENTAGE DE LUMIÈRE PARASITE
25
20
15
10
5
0
20
30
40
50
60
70
80
AGE (ANNÉES)

FIGURE 3

Increase in Percentage Stray Light at Roadway Lighting Levels

Research done in the laboratory of Lucia Ronchi of Italy[5] has indicated that the percentage stray light produced by a lighted field depends on the size of the opening of the pupil of the eye. Since this in turn depends on the luminance level, we also measured the percentage stray light as a function of the age of the observer for a luminance of 1.7 cd/m^2 (approximately .7 fc), a value of interest for roadway lighting applications. The results of these measurements are seen in Figure 4. Notice first that the percentage stray light at this roadway lighting luminance has now increased to 11.1 per cent for the average of our 99, 20-30 year old observers. Again the stray light increases at about age 44 and a change in the rate of increase occurs at about age 64. By these measurements, then, we have identified one source of the loss in visibility with age, namely, an increase in light scatter in the eye.

Majoration du pourcentage de lumière parasite aux niveaux d'éclairage routier

D'après les recherches effectuées au laboratoire de Lucia Ronchi, en Italie[5], le pourcentage de lumière parasite produit par un champ éclairé dépend de la taille de l'ouverture de la pupille de l'oeil. Puisqu'à son tour cela dépend du niveau de luminance, nous avons également mesuré le pourcentage de lumière parasite en fonction de l'âge de l'observateur pour une luminance de 1,7 cd/m^2 (environ 0,7 fc), une valeur qui présente un certain intérêt pour les application d'éclairage routier. La figure 4 présente les résultats de ces mesures. Notons d'abord que le pourcentage de lumière parasite à cette luminance d'éclairage routier s'est accru pour passer maintenant à 11,1 pour cent pour la moyenne de nos 99 observateurs âgés de 20 à 30 ans. Là encore, la lumière parasite augmente à l'âge de 44 ans environ, puis il se produit un changement du taux d'augmentation à l'âge de 64 ans environ. Ces mesures nous ont donc permis d'identifier l'une des sources de la perte de visibilité avec l'âge, notamment l'augmentation de la diffusion de lumière dans l'oeil.

How much of the loss in visibility does this explain? To determine the answer let us return to a consideration of the results of our measurements of the visibility threshold, $\bar{C}$, as a function of luminance. Figure 5 shows $\bar{C}$ as a function of reference luminance for an observer of age 70 (upper curve) compared to an average 20-30 year old, whose visibility threshold function of luminance is designated the **visibility reference function**[1]. At 100 cd/m^2, the test luminance, $\bar{C}$ for the 70 year old is 2.822 (.2709/.0960) times that for the reference observer. Figure 6 shows what would happen to the visibility threshold function of luminance compared to the visibility reference function if an observer had stray light in his eye equal to that of a 70 year old. At 100 cd/m^2, $\bar{C}$ would be 1.024 (0.983/.0960) times that of the average 20-30 year old. (The difference in $\bar{C}$ due to increased stray light is so small because the measurement conditions we used involved a minimum of stray light, the task surround

Quelle proportion de la perte de visibilité est-elle due à ce phénomène? Pour répondre à cette question, examinons de nouveau les résultats de nos mesures du seuil de visibilité $\bar{C}$ en fonction de la luminance. La figure 5 présente $\bar{C}$ en fonction de la luminance de référence pour un observateur âgé de 70 ans (courbe supérieure), comparé à une personne moyenne âgée de 20 à 30 ans, dont la fonction "seuil de visibilité" de la luminance est désignée comme **fonction de visibilité de référence**[1]. À 100 cd/m^2, la luminance d'essai, $\bar{C}$ pour la personne âgée de 70 ans est 2,822 (0,2709/0,0960) fois celle de l'observateur de référence. La figure 6 montre ce qui se passerait avec la fonction "seuil de visibilité" de la luminance, comparativement à la fonction de visibilité de référence, si l'oeil de l'observateur recevait autant de lumière parasite que l'oeil d'une personne âgée de 70 ans. À 100 cd/m^2, $\bar{C}$ serait 1,024 (0,0983/0,0960) fois la luminance d'essai pour une personne

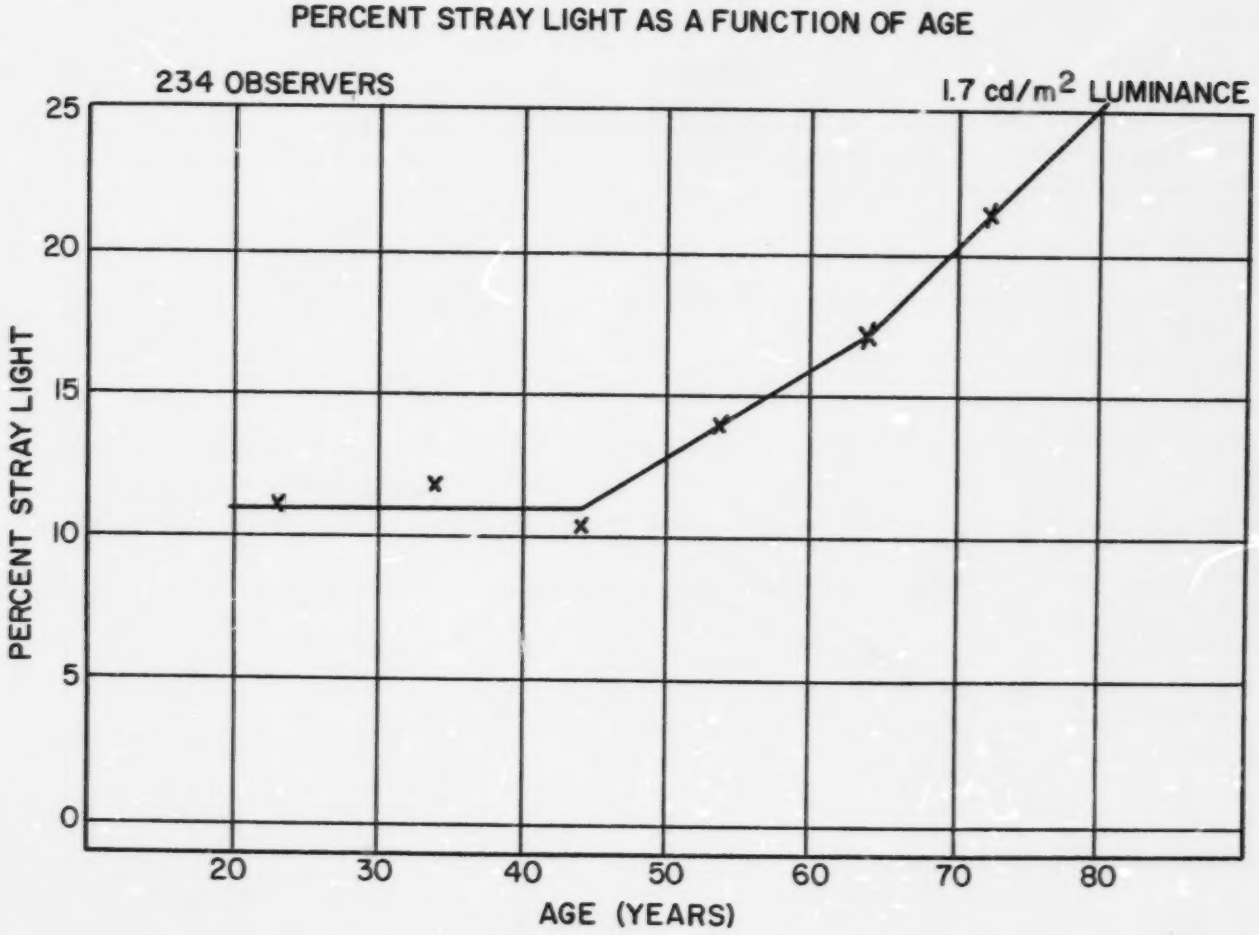

PERCENT STRAY LIGHT AS A FUNCTION OF AGE
234 OBSERVERS
1.7 cd/m2 LUMINANCE
PERCENT STRAY LIGHT
25
20
15
10
5
0
20
30
40
50
60
70
80
AGE (YEARS)

FIGURE 4

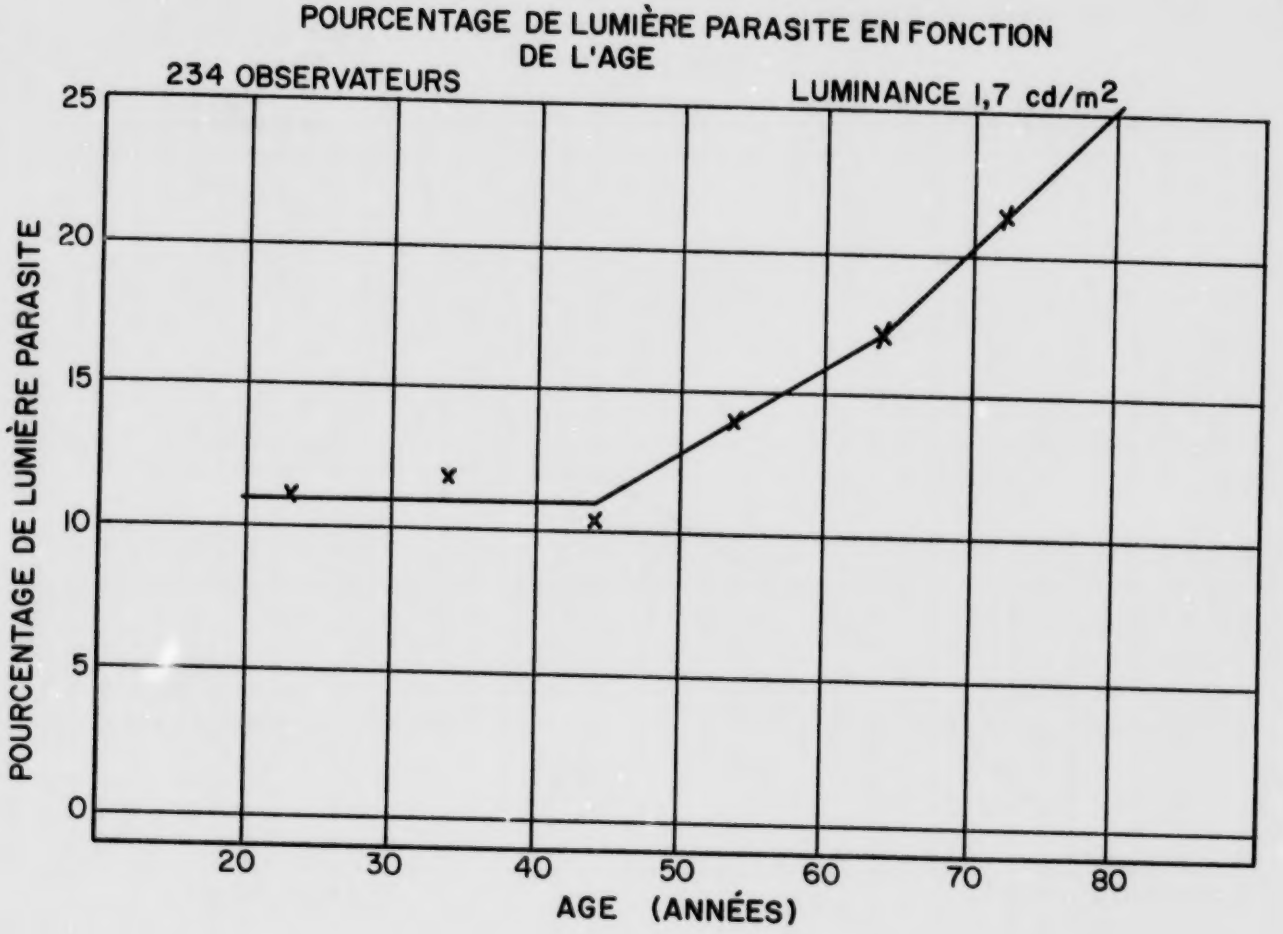

POURCENTAGE DE LUMIÈRE PARASITE EN FONCTION DE L'AGE
234 OBSERVATEURS
LUMINANCE 1,7 cd/m2
POURCENTAGE DE LUMIÈRE PARASITE
25
20
15
10
5
0
20
30
40
50
60
70
80
AGE (ANNÉES)

FIGURE 4

EFFECT OF AGE UPON THE VISIBILITY THRESHOLD FUNCTION OF LUMINANCE

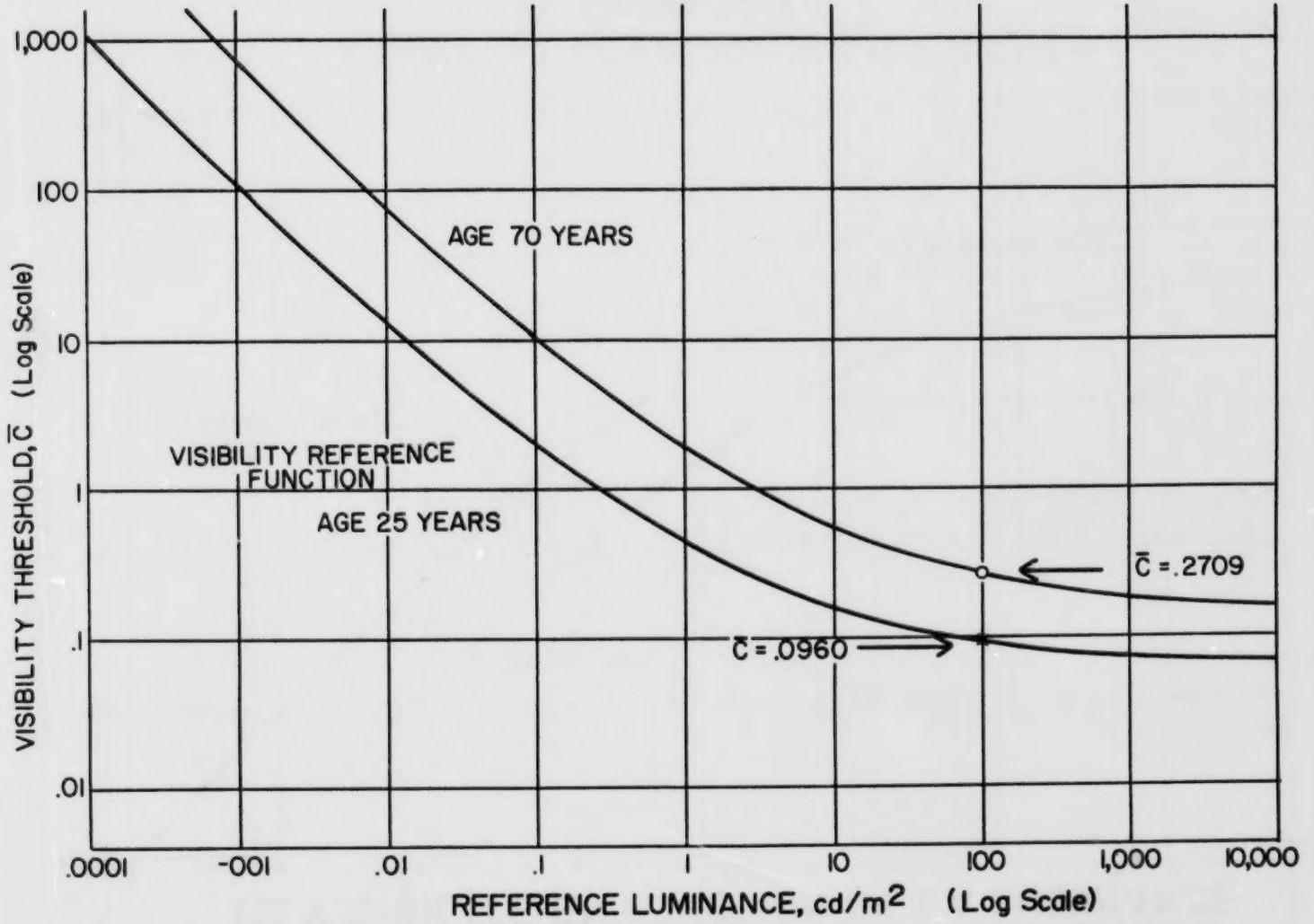


FIGURE 5

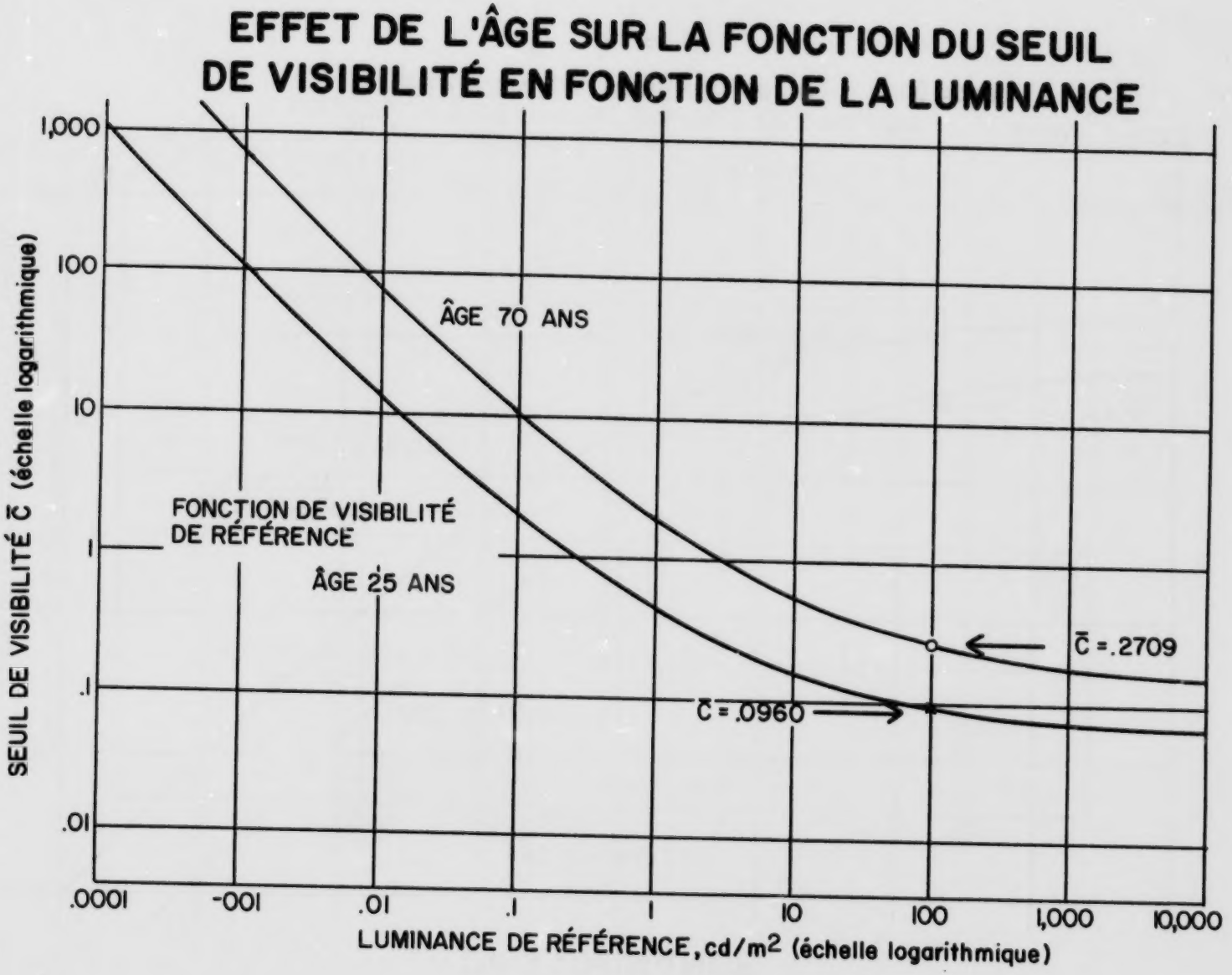

EFFET DE L'ÂGE SUR LA FONCTION DU SEUIL DE VISIBILITÉ EN FONCTION DE LA LUMINANCE
SEUIL DE VISIBILITÉ C̄ (échelle logarithmique)
1,000
100
10
1
.1
.01
ÂGE 70 ANS
FONCTION DE VISIBILITÉ DE RÉFÉRENCE
ÂGE 25 ANS
C̄ = .2709
C̄ = .0960
.0001
-001
.01
.1
1
10
100
1,000
10,000
LUMINANCE DE RÉFÉRENCE, cd/m2 (échelle logarithmique)

FIGURE 5

EFFECT OF OCULAR STRAY LIGHT UPON THE VISIBILITY REFERENCE FUNCTION

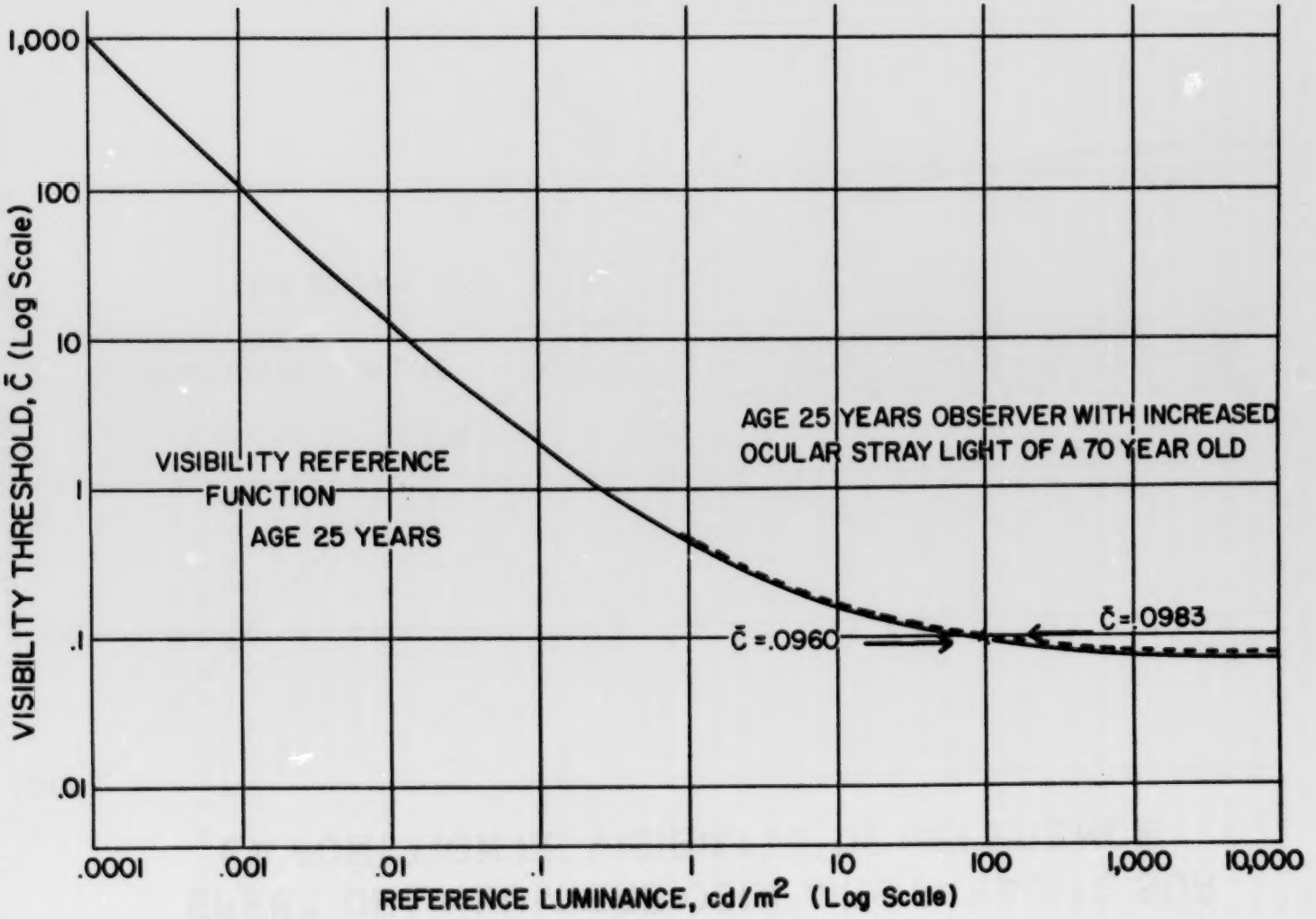


FIGURE 6

EFFET DE LA LUMIERÈ OCULAIRE PARASITE SUR LA FONCTION DE VISIBILITÉ DE RÉFÉRENCE

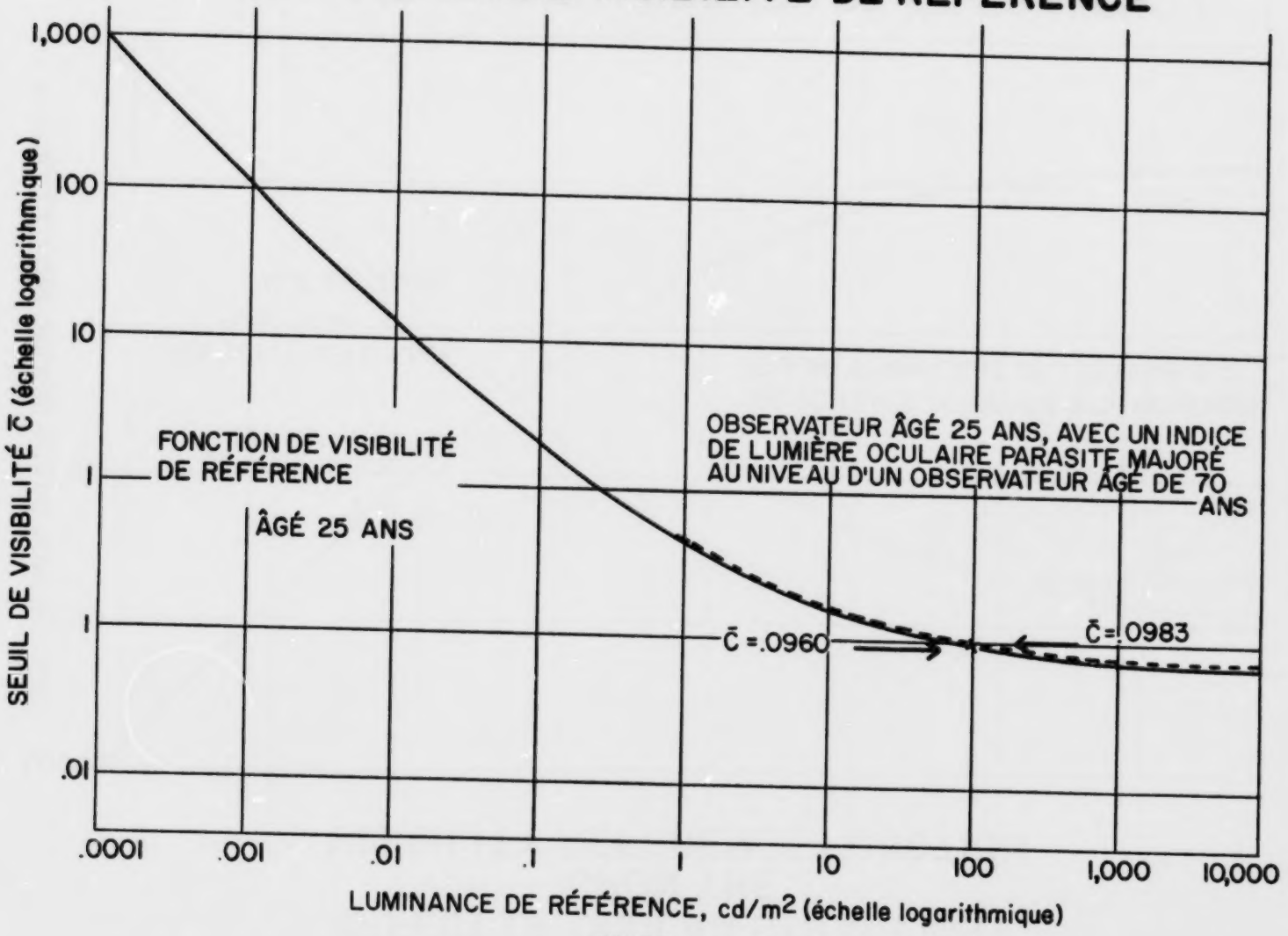


FIGURE 6

being matched in luminance to the task background and limited in size.) It is interesting to note that the shape of the upper curve reveals that increased stray light causes a loss in visibility which is greater the higher the light level is. If we compare this result with that shown by the two curves in Figure 5, it is obvious that the course of the visibility threshold function for the 70 year old goes in the wrong direction to be explained by stray light, i.e., that there is actually a greater loss in visibility the lower the luminance level. In fact, the shape of the upper curve in Figure 5 looks as though it was produced by displacing the lower curve to the right on the luminance scale. This is the result to be expected if the observer had worn sunglasses and all the luminance levels were thereby reduced compared to the luminances on the scale. Having corrected the shape of the older observer's visibility curve for the effect of increased stray light, we then, in effect, evaluated how much of a shift of the curve on the luminance scale would be required to make the shape of the visibility threshold function of the older observers fit the visibility reference function. The dashed curve in Figure 7 has been constructed to illustrate the change in curve shape to be expected from such an adjustment, the dashed curve leading to a value of $\bar{C}$ equal to 1.248 (.1198/.0960) times the 20-30 year old's value of $\bar{C}$ at a 100 cd/m^2 luminance level.

moyenne âgée de 20-30 ans. (La différence du $\bar{C}$ due à l'augmentation de lumière parasite est aussi faible parce que les conditions de mesure que nous avons utilisées mettaient en jeu un minimum de lumière parasite, la luminance du champ périphérique de la tâche étant adaptée à celle du fond de la tâche en plus d'avoir une grandeur restreinte). Il en intéressant de noter que la forme de la courbe supérieure indique qu'une augmentation de la lumière parasite entraîne une perte de visibilité qui croit lorsqu'on augmente le niveau de lumière. En comparant ce résultat à celui indiqué par les deux courbes de la figure 5, on voit que la fonction du seuil de visibilité pour la personne âgée de 70 ans se développe dans le mauvais sens pour qu'elle puisse être expliquée par la lumière parasite, c.-à-d. qu'il y a en réalité un perte de visibilité plus importante lorsque le niveau de luminance est plus bas. En fait, la forme de la courbe supérieure de la figure 5 a l'air d'avoir été produite par un déplacement vers la droite, sur l'échelle de luminance, de la courbe inférieure. C'est le résultat que l'on s'attendrait à obtenir si l'observateur avait porté des lunettes de soleil, ce qui aurait réduit tous les niveaux de luminance comprativement aux luminances de l'échelle. Ayant corrigé la forme de la courbe de visibilité de l'observateur plus âgé, pour tenir compte de l'effet de l'augmentation de la lumière parasite, nous avons en fait évalué le déplacement de la courbe, sur l'échelle de luminance, qui serait nécessaire pour faire correspondre la forme de la fonction du seuil de visibilité des observateurs plus âgés à la fonction de visibilité de référence. La courbe en traits interrompus, à la figure 7, vise à illustrer la modification de la forme de la courbe qu'on peut escompter suite à un tel ajustement, la courbe en traits interrompus donnant une valeur de $\bar{C}$ égale à 1,248 (0,1198/0,0960) fois la valeur de $\bar{C}$ de la personne âgée de 20 à 30 ans, à un niveau de luminance de 100 cd/m^2.

EFFECT OF REDUCED OCULAR TRANSMITTANCE UPON THE VISIBILITY REFERENCE FUNCTION

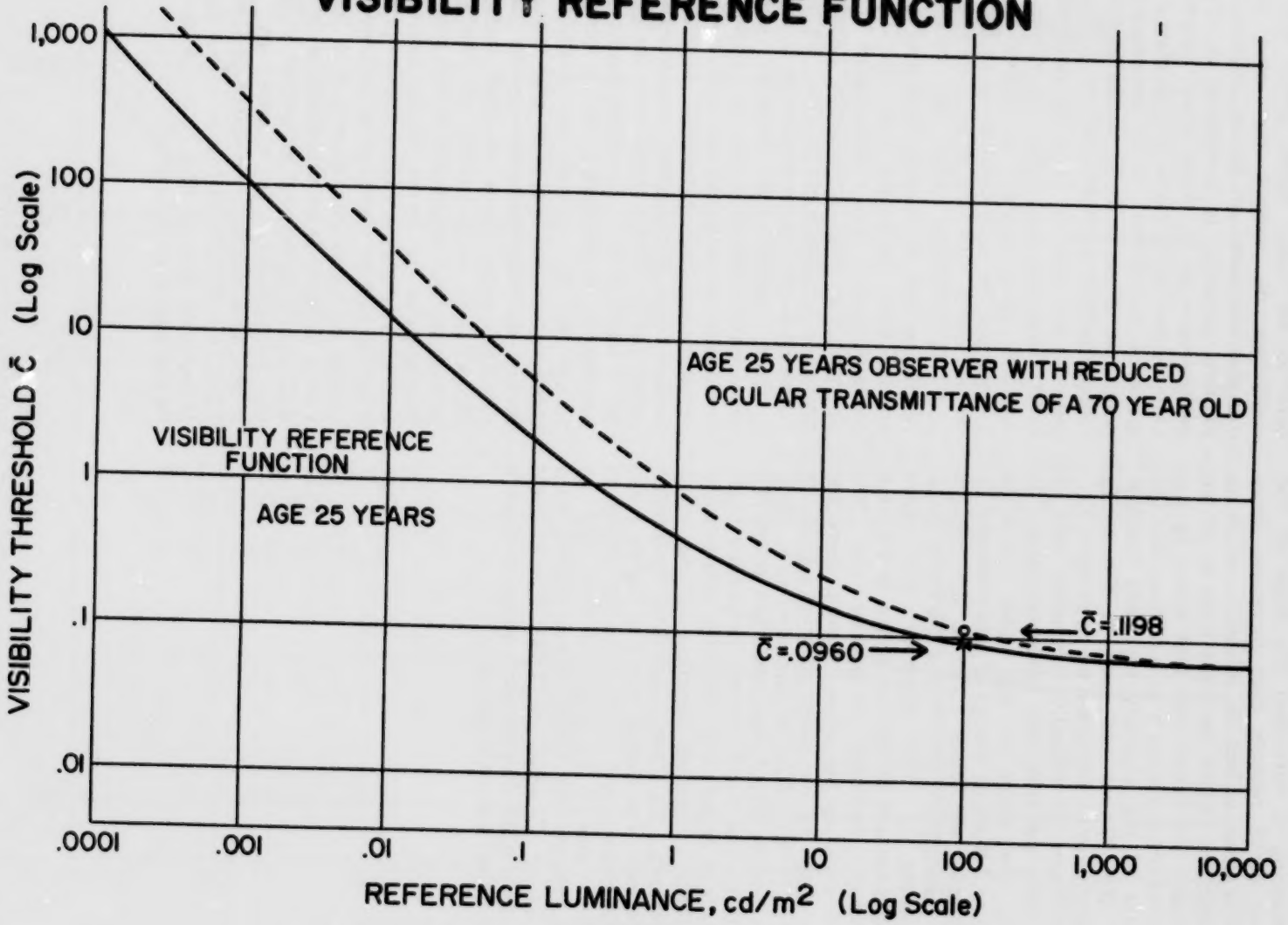


FIGURE 7

EFFET DE LA RÉDUCTION DU FACTEUR DE TRANSMISSION OCULAIRE SUR LA FONCTION DE VISIBILITÉ DE RÉFÉRENCE

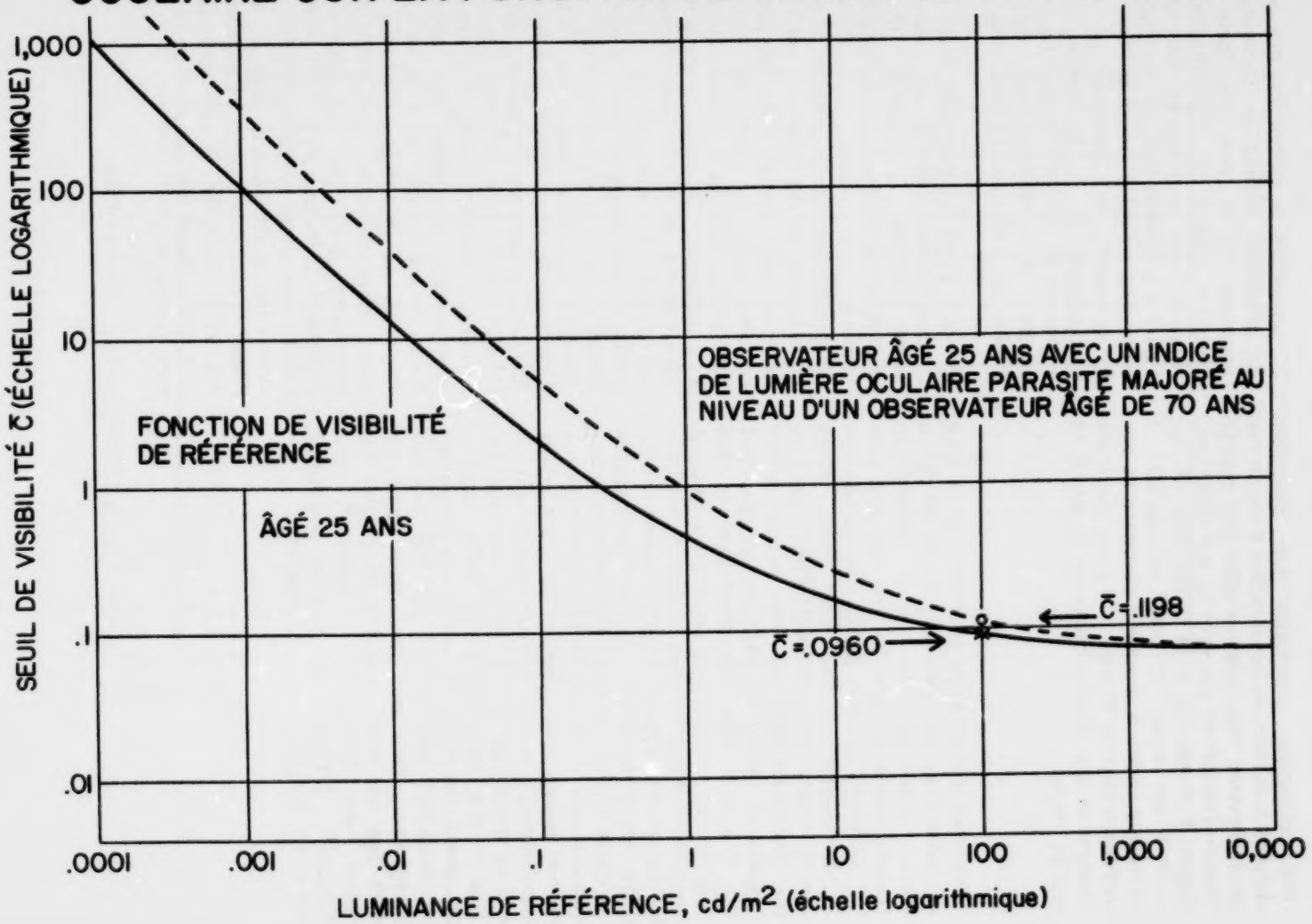


FIGURE 7

Loss in Ocular Transmittance with Increasing Age

The correction procedure just described defines a factor we have called t which can be designated "the relative effective overall transmittance" of the eyes of our observers. Figure 8 shows log t as a function of age with t set equal to unity at age 20. t obviously shows a dramatic decrease as age increases beyond 30 years. Again, there are changes in the rate of decrease at about 44 and 64 years.

Since this is such a large effect, let us take a moment to examine any other evidence there may be for such losses in transmittance of light by the eye and also for increases in stray light. The human eye is so constructed that light must travel through many layers before being imaged on the photoreceptors of the retina which respond to light. In addition, the pupil of the eye acts like the diaphragm in the aperture of a camera to control the amount of light entering the eyes. Light is lost both by absoption in these various layers and by being scattered within and at the surfaces on these layers. In fact, scattered light has two effects: (1) It can be scattered into the retinal image thus reducing its contrast by superimposing a veil of unfocussed light on top of the image of the visual task display. This is the stray light we have already discussed, the study of which was pioneered by Holladay[6] and Stiles[7] for the average young eye. That this stray light increases with age has been reported in studies by Fisher and Christie[8], Longobard[9], and Adrian[10]. (2) Light can also be scattered out of the retinal image and thus lost.

Diminution du facteur de transmission oculaire avec l'âge

La procédure de correction que nous venons de présenter définit un facteur, que nous appelons t, et que l'on peut désigner: "facteur global de transmission efficace relative " des yeux de nos observateurs. La figure 8 présente log t en fonction de l'âge, en posant t égal à l'unité à l'âge de 20 ans. Évidemment, on constate un diminution dramatique de t à mesure que l'âge augmente au-delà de 30 ans. Là encore, il se produit des changements au taux de diminution à environ 44 et 64 ans.

Puisqu'il s'agit ici d'un effet aussi important, il nous faudrait maintenant examiner toute autre preuve éventuelle d'une telle réduction du facteur de transmission de la lumière par l'oeil, ainsi que de l'augmentation de la lumière parasite. La constitution de l'oeil humain est telle que la lumière doit passer par de nombreuses couches avant de créer une image sur les photorécepteurs de la rétine, qui réagissent à la lumière. De plus, la pupille de l'oeil agit comme le diaphragme d'une caméra, contrôlant la quantité de lumière qui pénètre dans les yeux. Il y a une perte de lumière tant par absorption dans ces diverses couches que par diffusion à l'intérieur de ces couches et à leur surface. En fait, la lumière diffusée a deux effets: (1) elle peut être diffusée dans l'image rétinale, réduisant ainsi son contraste en superposant un voile de lumière non focalisée sur l'image de la tâche visuelle. Il s'agit ici de la lumière diffusée que nous avons déjà examiné, dont l'étude a été entreprise pour la première fois par Holladay[6] et Stiles[7] pour l'oeil jeune moyen. Le fait que cette lumière parasite augmente avec l'âge a été signalé dans les études de Fisher et Christie[8], Longobardi[9] et Adrian[10]. (2) De la lumière peut être diffusée à l'extérieur de l'image rétinale, et donc perdue.

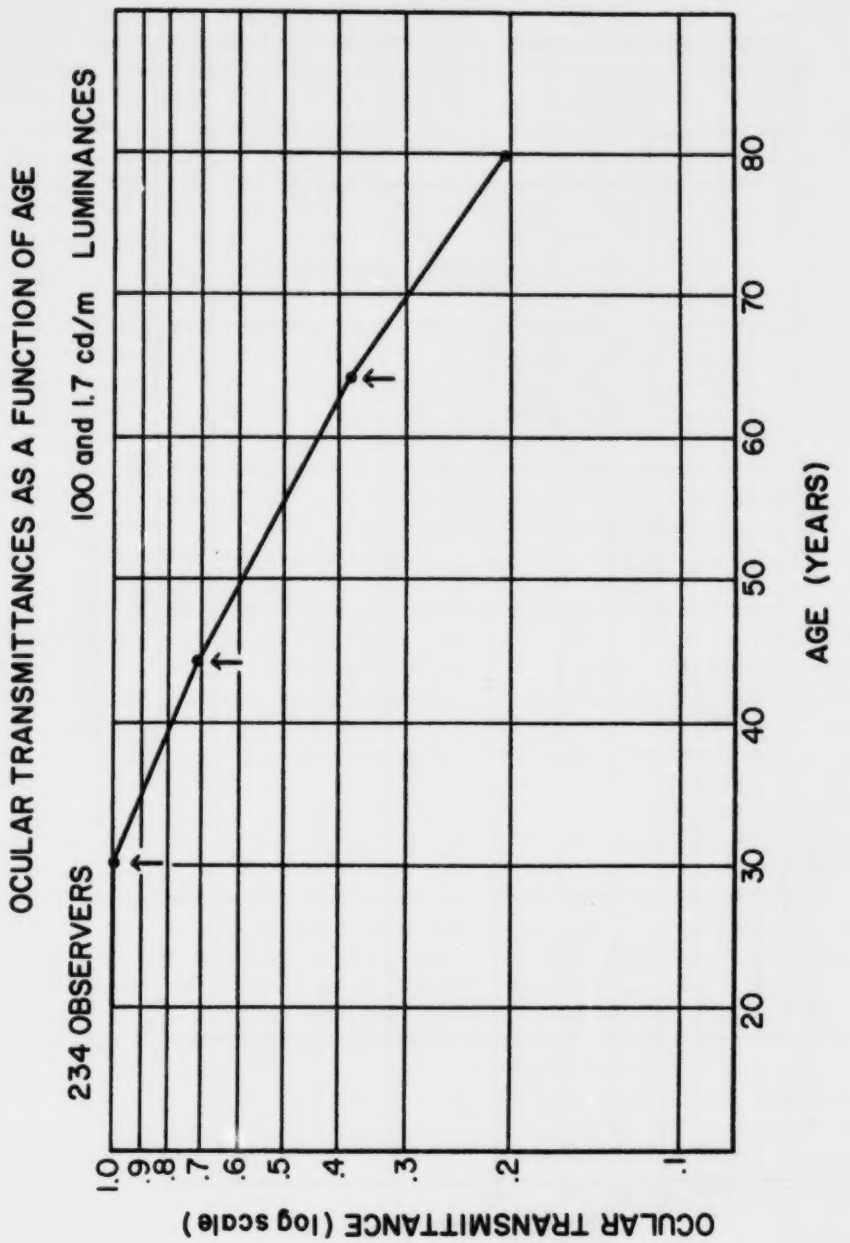

OCULAR TRANSMITTANCES AS A FUNCTION OF AGE
234 OBSERVERS
100 and 1.7 cd/m LUMINANCES
OCULAR TRANSMITTANCE (log scale)
1.0
.9
.8
.7
.6
.5
.4
.3
.2
.1
20
30
40
50
60
70
80
AGE (YEARS)

FIGURE 8

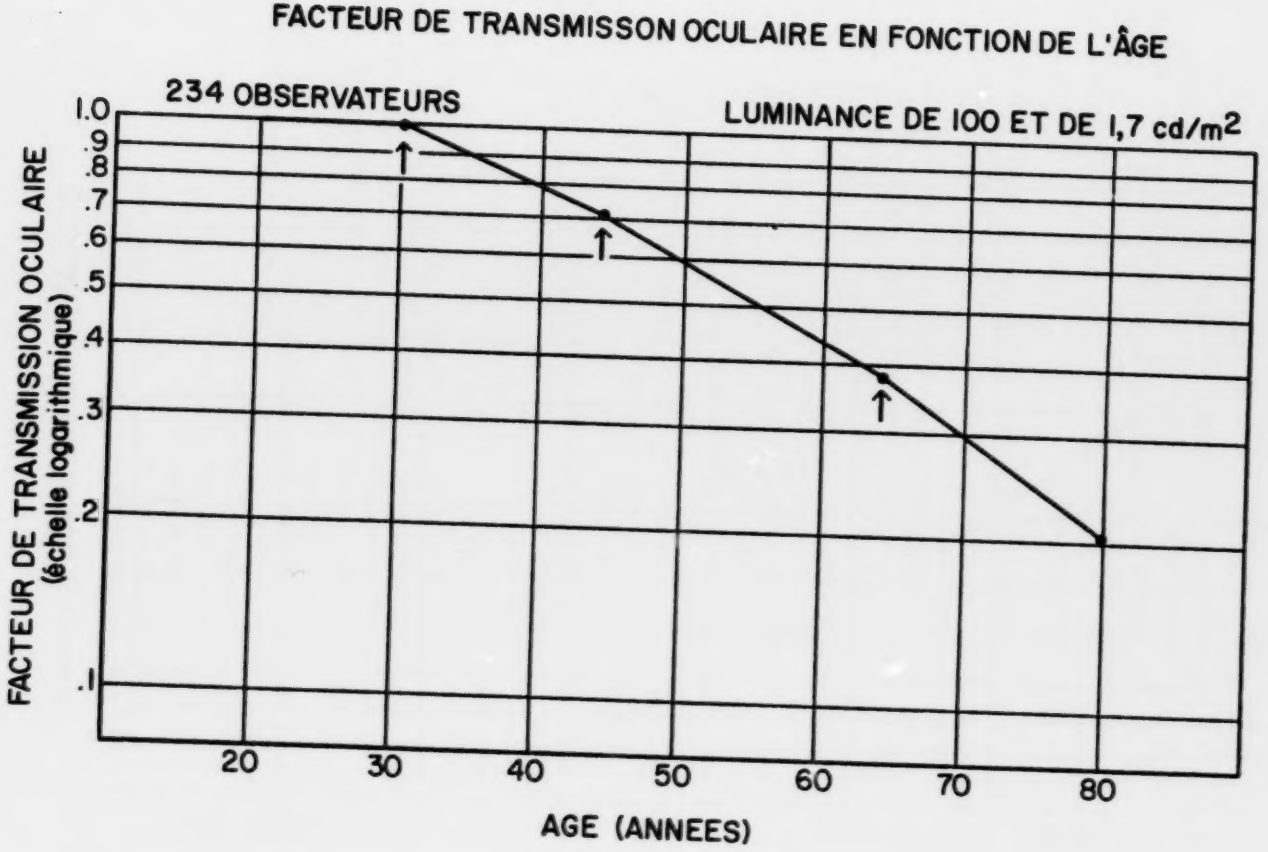

FACTEUR DE TRANSMISSON OCULAIRE EN FONCTION DE L'ÂGE
234 OBSERVATEURS
LUMINANCE DE 100 ET DE 1,7 cd/m2
FACTEUR DE TRANSMISSION OCULAIRE
(échelle logarithmique)
1.0
.9
.8
.7
.6
.5
.4
.3
.2
.1
20
30
40
50
60
70
80
AGE (ANNEES)

FIGURE 8

Weale[11] and Verriest[12] have summarized what is known about the increased loss of transmittance of light through the eyes of observers older than 20 years. Briefly, the literature indicates that the two main causes of increased loss in transmittance of light through the older eye are (1) the size of the pupil decreases with increasing age after 20 years, thus reducing the amount of light entering the eye; and (2) the lens of the eye yellows and becomes denser, thus acting like an increasingly dark filter. This reduces the transmittance of light as all wavelengths but with a much greater relative loss at the shorter (blue) wavelengths. Using physiological and psychophysical data available for these two sources of transmittance losses, Weale, and later Verriest, computed the transmittance losses to be expected for a broad spectrum "white" light such as has been used up to now for interior lighting. Weale estimated that a 60 year old observer would receive only one-third the light on the retina that a 20 year old receives from the same luminance. Thus what we call 100 cd/m^2 is effectively only 33.3 for the 60 year old. Verriest estimated 42 per cent or 47 per cent depending on whose data for pupil size and lens transmittance losses were used. Figure 9 shows these estimates compared to a plot of our factor t as a function of age made equal to 1 at age 20. The agreement is obvious and thus we have strong quantitative support for our factor t which we derived from our data on the increase in visibility threshold as a function of age after taking account of the effect of stray light. It is thus obvious that when the illumination engineer provides a given level of luminance, he is providing a vastly different level of the quantity that matters, namely, retinal illuminance, for different observers.

Weale[11] et Verriest[13] ont résumé nos connaissances en ce qui concerne la réduction du facteur de transmission de la lumière dans les yeux des observateurs âgés de plus de 20 ans. En bref, la littérature spécialisée indique que les deux raisons principales de réduction accélérée du facteur de transmission de la lumière dans les yeux plus âgés sont: (1) le fait que la grandeur de la pupille diminue avec l'âge après 20 ans, réduisant ainsi la quantité de lumière qui pénètre dans l'oeil; et (2) le fait que la lentille oculaire jaunit et devient plus dense, agissant ainsi comme un filtre de plus en plus sombre. Cela réduit le facteur de transmission de la lumière à toutes les longueurs d'onde, mais avec une perte relative beaucoup plus élevée aux longueurs d'ondes plus courtes (bleu). À partir des données physiologiques et psycho-physiques disponibles pour ces deux sources de réduction du facteur de transmission, Weale, puis Verriest, ont calculé la réduction du facteur de transmission à escompter pour une vaste gamme de lumières "blanches", du type utilisé jusqu'ici pour l'éclairage d'intérieur. Weale estime qu'un observateur âgé de 60 ans ne recevrait sur la rétine que le tiers de la lumière reçue, à la même luminance, par une personne âgée de 20 ans; ce que nous appelons 100 cd/m^2 n'est donc en réalité que 33,3 pour la personne âgée de 60 ans. Verriest estime ce chiffre à 42 ou 47 pour cent, selon le spécialiste dont on utilise les données de grandeur de la pupille et de réduction du facteur de transmission de la lentille. La figure 9 présente ces estimations, comparées à un tracé de notre facteur t en fonction de l'âge, supposé égal à 1 à l'âge de 20 ans. La concordance est évidente; nous avons donc une forte corroboration quantitative de notre facteur t, que nous avions tiré de nos données sur l'augmentation du seuil de visibilité en fonction de l'âge, après avoir tenu compte de l'effet de la lumière parasite. On voit dès lors que lorsque l'éclairagiste fournit un niveau de luminance donné, il fournit en fait une quantité tout à fait autre pour la variable qui compte, notamment l'éclairement rétinal, pour divers observateurs.

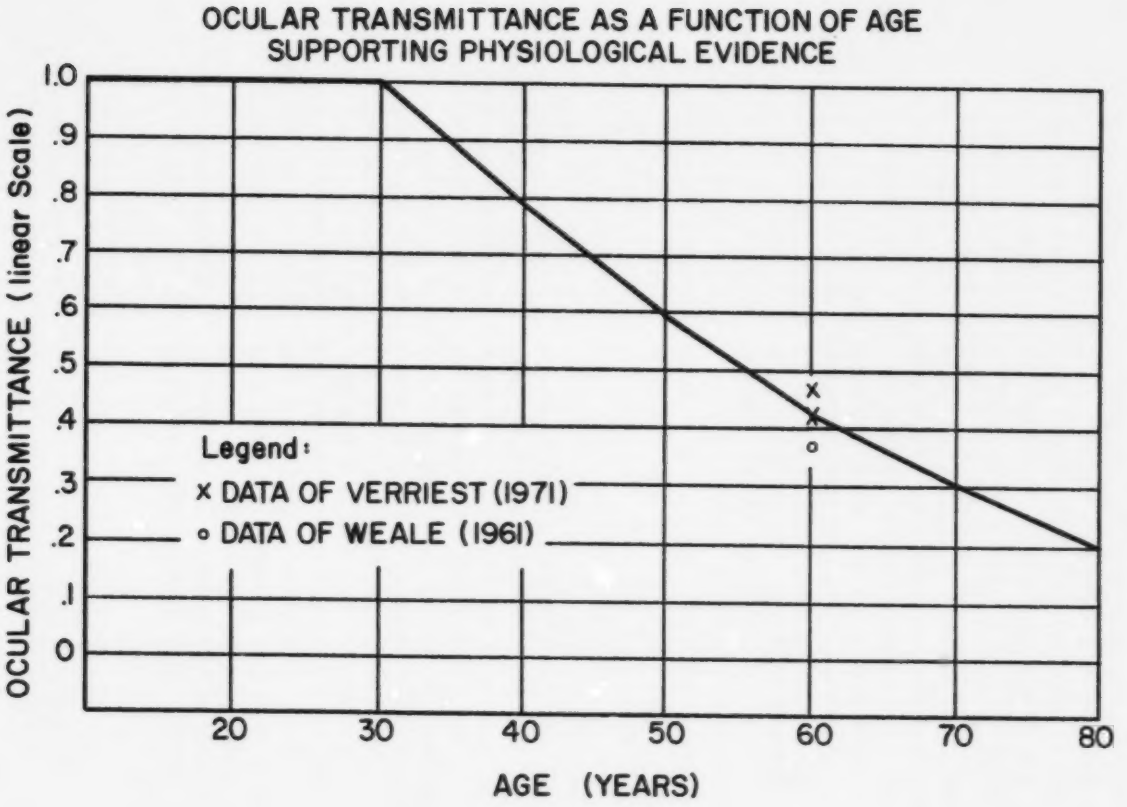

OCULAR TRANSMITTANCE AS A FUNCTION OF AGE
SUPPORTING PHYSIOLOGICAL EVIDENCE
OCULAR TRANSMITTANCE (linear Scale)
1.0
.9
.8
.7
.6
.5
.4
.3
.2
.1
0
Legend:
x DATA OF VERRIEST (1971)
o DATA OF WEALE (1961)
20
30
40
50
60
70
80
AGE (YEARS)

FIGURE 9

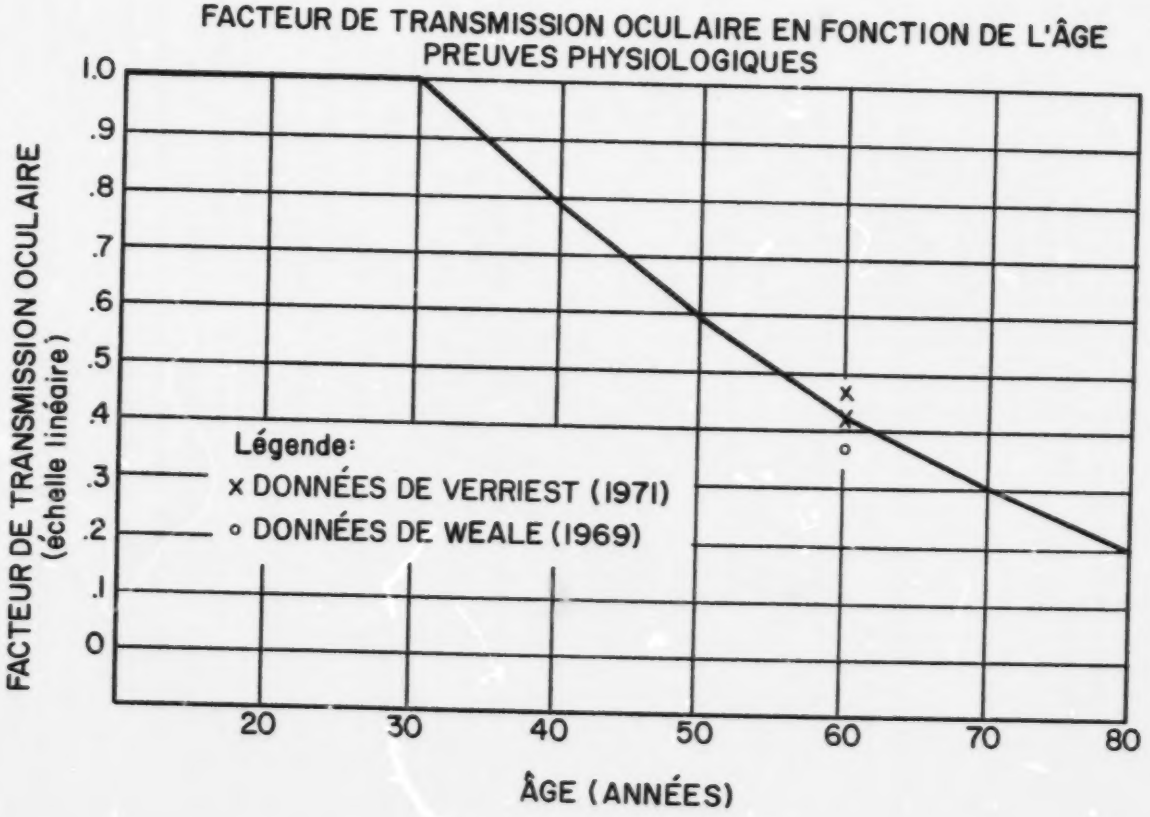

FACTEUR DE TRANSMISSION OCULAIRE EN FONCTION DE L'ÂGE
PREUVES PHYSIOLOGIQUES
FACTEUR DE TRANSMISSION OCULAIRE
(échelle linéaire)
1.0
.9
.8
.7
.6
.5
.4
.3
.2
.1
0
Légende:
x DONNÉES DE VERRIEST (1971)
o DONNÉES DE WEALE (1969)
20
30
40
50
60
70
80
ÂGE (ANNÉES)

FIGURE 9

It should be noted that we have derived our factor t for reference luminance which is provided by Standard Illuminant A. Whereas for the usual broad-band spectra illuminants used for general lighting overall ocular transmittance is not significantly different, this would not be true for a highly selective light source. In particular, any light source with a concentrated output in the blue (short wave-lengths) would encounter a much higher transmittance loss in the older eye. A preliminary procedure for estimating these additional losses has been developed by Werner and Wooten[13].

Notons que nous avons obtenu notre facteur t pour la luminance de référence précisée par l'illuminant normalisé. Si le facteur global de transmission oculaire ne diffère pas de façon significative pour les illuminants habituels à spectre large utilisés pour l'éclairage général, il en est tout autrement pour une source lumineuse hautement sélective. En particulier, toute source lumineuse produisant une lumière concentrée dans le bleu (longueurs d'onde courtes) ferait face à une réduction beaucoup plus forte du facteur de transmission dans l'oeil plus âgé. Werner et Wooten[13] ont mis au point un procédé préliminaire permettant d'évaluer ces réductions supplémentaires.

Requirement for Additional Causes of Loss in Visibility with Age

Now we can return to our question. What causes the loss in visibility which occurs with increasing age? We have identified two of the casues. First, an increase in scattered light reduces the contrast of the retinal image in the older eye, and, second, a drastic loss in the transmittance of light reduces the retinal illuminance in that image. To what extent do these two causative factors account for the loss in visibility of older observers compared to the 20-30 year old reference observer? After we correct the visibility threshold functions of luminance of older observers for the combined effects of increased stray light and loss in ocular transmittance, there is still need for the additional adjustment represented by the shape and location of the dashed curve in Figure 10. This curve is parallel to the visibility reference function, with a value of C = 2.208 (.2120/.0960) times that for the reference observer at a 100 cd/m^2 luminance level. As indicated in Figure 10, the dashed curve is considered as representing the effect of additional unidentified variables. The upper curve in Figure 5 representing the actual values of $\bar{C}$ as a function of reference luminance for the 70 year old observer may be constructed by addition of the effects represented by the dashed curves in Figures 6, 7 and 10. Thus, age effects upon visibility include effects due to stray light, overall transmission, and additional unidentified variables. Figure 11

Raisons supplémentaires de la perte de visibilité avec l'âge

Revenons maintenant à notre question: Qu'est-ce qui cause la perte de visibilité qui se produit avec l'âge? Nous avons identifié deux de ces raisons. Premièrement, une augmentation de la lumière diffusée réduit le contraste de l'image rétinale dans l'oeil plus âgé, et deuxièmement, une forte chute du facteur de transmission de la lumière réduit l'éclairement rétinal dans le cadre de cette image. Dans quelle mesure ces deux facteurs sont-ils responsables de la perte de visibilité chez les observateurs plus âgés, comparativement à l'observateur de référence âgé de 20 à 30 ans? Après avoir corrigé les fonctions du seuil de visibilité (en fonction de la luminance) des observateurs plus âgés, afin de tenir compte des effets combinés de l'augmentation de la lumière diffusée, d'une part, et d'autre part de la réduction du facteur de transmission oculaire, il faut encore effectuer l'ajustement supplémentaire indiqué par la forme et la localisation de la courbe en traits interrompus de la figure 10. Cette courbe est parallèle à la fonction de visibilité de référence, avec une valeur de $\bar{C}$ = 2,208 (0,2120/0,0960) fois celle de l'observateur de référence, à un niveau de luminance de 100 cd/m^2. Tel qu'indiqué dans la figure 10, on considère que la courbe en traits interrompus représente l'effet de variables supplémentaires, non identifiées. La courbe supérieure de la figure 5 représentant les valeurs réelles de $\bar{C}$ en

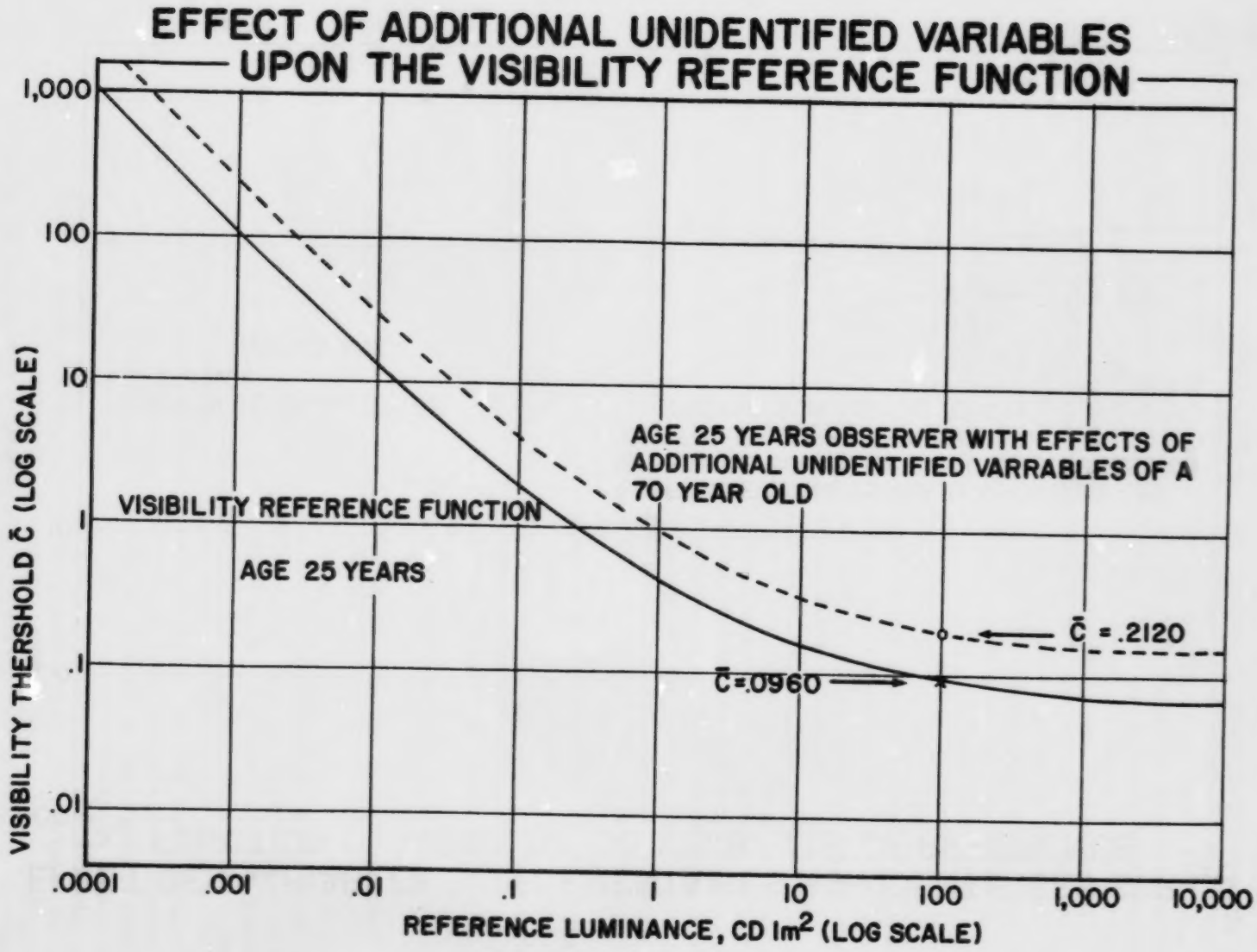

EFFECT OF ADDITIONAL UNIDENTIFIED VARIABLES
UPON THE VISIBILITY REFERENCE FUNCTION
1,000
100
10
1
.1
.01
VISIBILITY THERSHOLD C̄ (LOG SCALE)
AGE 25 YEARS OBSERVER WITH EFFECTS OF
ADDITIONAL UNIDENTIFIED VARRABLES OF A
70 YEAR OLD
VISIBILITY REFERENCE FUNCTION
AGE 25 YEARS
C̄ = .2120
C̄=.0960
.0001
.001
.01
.1
1
10
100
1,000
10,000
REFERENCE LUMINANCE, CD Im2 (LOG SCALE)

FIGURE 10

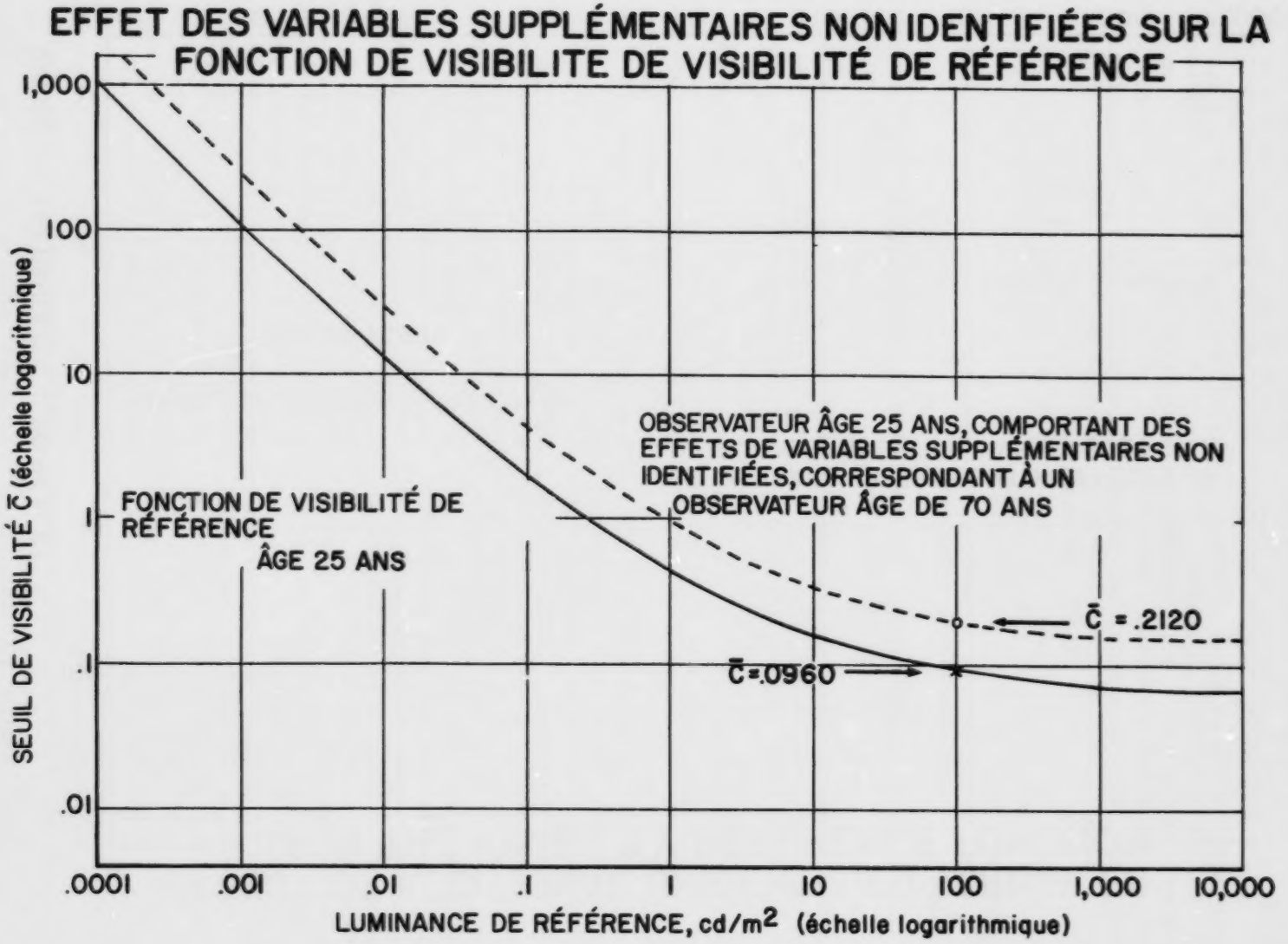

EFFET DES VARIABLES SUPPLÉMENTAIRES NON IDENTIFIÉES SUR LA FONCTION DE VISIBILITE DE VISIBILITÉ DE RÉFÉRENCE
1,000
100
10
1
.1
.01
SEUIL DE VISIBILITÉ C̄ (échelle logaritmique)
FONCTION DE VISIBILITÉ DE RÉFÉRENCE
ÂGE 25 ANS
OBSERVATEUR ÂGE 25 ANS, COMPORTANT DES EFFETS DE VARIABLES SUPPLÉMENTAIRES NON IDENTIFIÉES, CORRESPONDANT À UN OBSERVATEUR ÂGE DE 70 ANS
C̄ = .2120
C̄=.0960
.0001
.001
.01
.1
1
10
100
1,000
10,000
LUMINANCE DE RÉFÉRENCE, cd/m2 (échelle logarithmique)

FIGURE 10

shows that the combined effects of increases stray light and decreased ocular transmittance (lower line) account for a relatively small part of the measured loss in visibility with age (solid line). Table 1 shows the visibility threshold multipliers, m_1, obtained from direct measurement, those predicted from increased stray light and loss in ocular transmittance, and the unexplained residual multiplier required to account for the magnitude of the measured $\bar{C}$ multiplier, m_1. Although many physical changes are known to take place in the aging eye and visual system, their actual functional effects, if any, have not as yet been identified. Our present guess is that degraded retinal imagery and lack of accuracy of fixation are likely causes of losses in visibility before age 64 and that loss of brain cells with aging may be the cause of the increasing loss after age 64. Future reseach will tell the story.

fonction de la luminance de référence pour l'observateur âgé de 70 ans, peut être tracée en additionnant les effets représentés par les courbes en traits interrompus dans les figures 6, 7 et 10. Ainsi, les effets de l'âge sur la visibilité comprennent ceux dus à la lumière diffusée, au facteur de transmission global, et à des variables supplémentaires non identifiées. La figure 11 montre que les effets combinés de l'augmentation de la lumière diffusée et de la réduction du facteur de transmission oculaire (ligne inférieure) ne sont responsables que d'une proportion relativement faible de la perte de visibilité mesurée avec l'âge (ligne pleine). Le tableau 1 montre les facteurs de multiplication du seuil de visibilité, m_1, obtenus par mesure directe, ceux prévus à partir de l'augmentation de la lumière diffusée et de la réduction du facteur de transmission oculaire, ainsi que le multiplicateur résiduel inexpliqué, dont on a besoin pour rendre compte de la grandeur du multiplicateur m_1 du $\bar{C}$ mesuré. On sait que de nombreux changements physiques se produisent dans l'oeil et dans le système visuel qui est en train de vieillir, mais leurs effets fonctionnels, s'il y en a, n'ont pas encore été identifiés. Notre hypothèse actuelle est que l'image rétinale détériorée ainsi que l'imprécision de la fixation entraînent probablement un perte de visibilité avant l'âge de 64 ans, tandis que la perte de cellules cérébrales avec l'âge peut accélérer la perte de visibilité après l'âge de 64 ans. Ce sont les recherches futures qui devront nous révéler toute la vérité.

Individual Differences in Visibility

To this point in our discussion of the visibility provided by light for different observers, our description has been solely in terms of the differences between average observers of differing age. Ultimately, in order to know how much light to provide for visibility and hence for visual performance, we need to know how much visibility light provides to different individuals within each age group. The importance of such information for lighting applications has been demonstrated in connection with our earlier method of relating visual performance to lighting parameters[14]. To

Différences individuelles en matière de visibilité

Jusqu'ici, en traitant de la visibilité que permet une même lumière pour divers observateurs, nous avons parlé uniquement en termes des différences entre observateurs moyens d'âges différents. En dernière instance, afin de savoir combien de lumière il faut fournir pour assurer la visibilité et donc la performance visuelle, nous devons savoir combien de visibilité la lumière fournit-elle à divers individus d'un même groupe d'âge. L'importance de tels renseignements pour les applications d'éclairage a déjà été démontrée en rapport avec notre méthode antérieure permettant

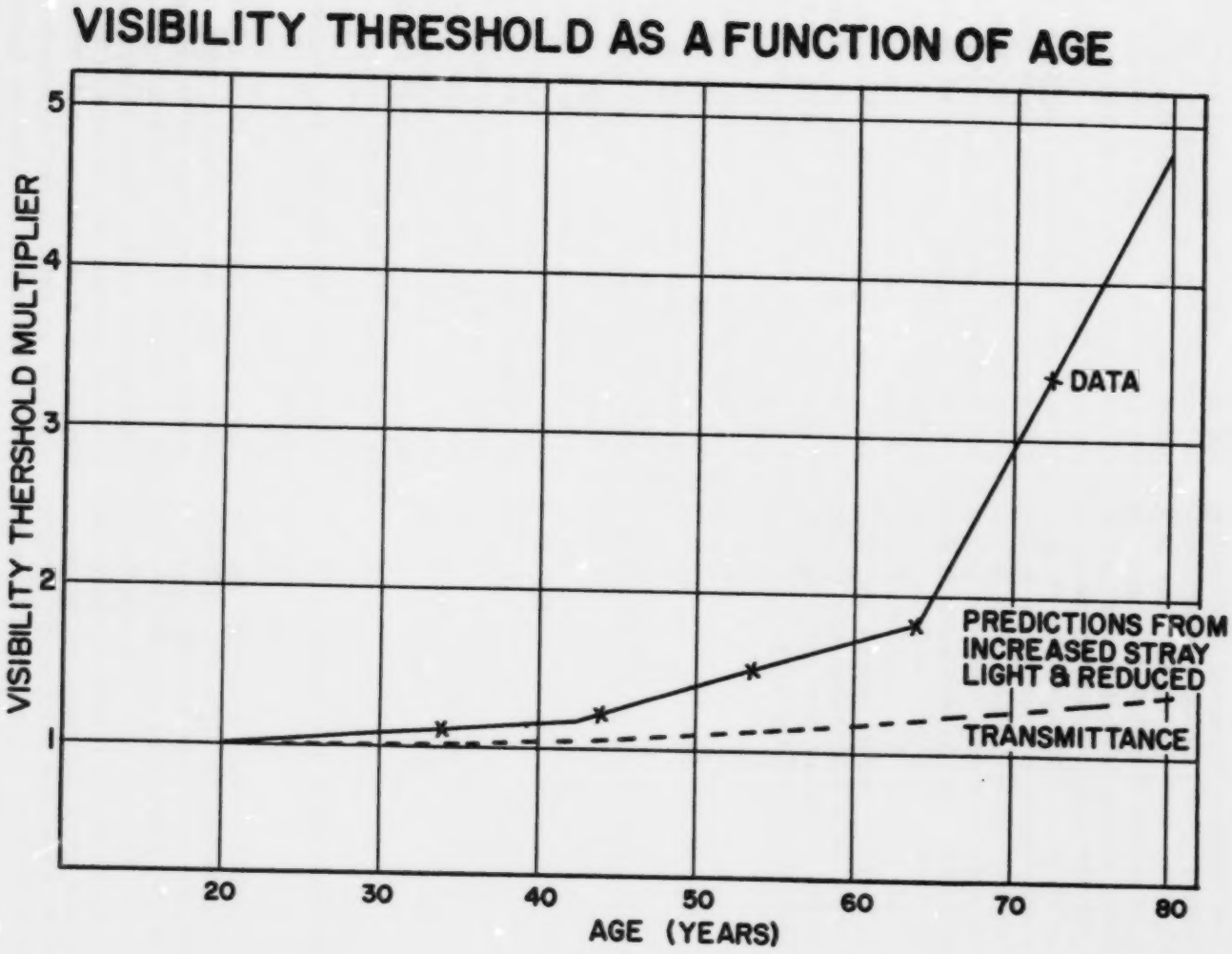

VISIBILITY THRESHOLD AS A FUNCTION OF AGE
VISIBILITY THERSHOLD MULTIPLIER
5
4
3
2
1
DATA
PREDICTIONS FROM INCREASED STRAY LIGHT & REDUCED TRANSMITTANCE
20
30
40
50
60
70
80
AGE (YEARS)

FIGURE II

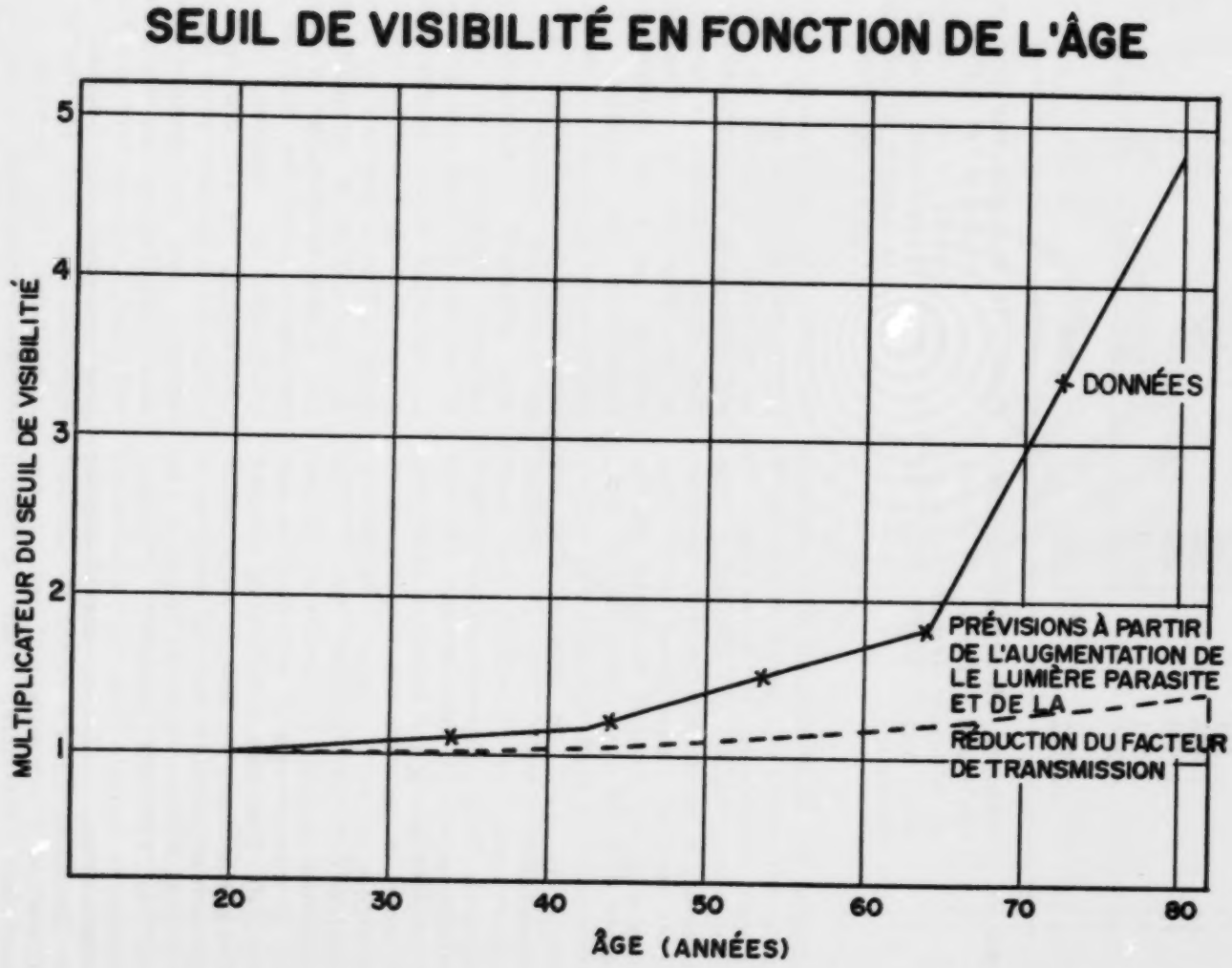

SEUIL DE VISIBILITÉ EN FONCTION DE L'ÂGE
MULTIPLICATEUR DU SEUIL DE VISIBILITÉ
1
2
3
4
5
20
30
40
50
60
70
80
ÂGE (ANNÉES)
DONNÉES
PRÉVISIONS À PARTIR DE L'AUGMENTATION DE LE LUMIÈRE PARASITE ET DE LA RÉDUCTION DU FACTEUR DE TRANSMISSION

FIGURE II

Age (years)/ Âge (années)	m_1	Predicted from SL/ Prévu à partir de la SL	Predicted from t/ Prévu à partir de t	SL x T	Residual/ Résiduel
20	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
25	1.040	1.000	1.000	1.000	1.040
35	1.119	1.000	1.020	1.020	1.097
45	1.262	1.001	1.066	1.067	1.183
55	1.551	1.008	1.122	1.131	1.371
65	1.998	1.016	1.196	1.215	1.644
70	2.935	1.024	1.248	1.278	2.296
75	3.871	1.031	1.291	1.332	2.906
80	4.808	1.040	1.344	1.397	3.442
70 ÷ 25	2.822	1.024	1.248	2.278	2.208

Table 1: Visibility Threshold Multiplier (m_1) and Effects Predicted from Ocular Transmittance (t) and Stray Light (SL) at 100 cd/m^2

Tableau 1: Mutliplicateur (m_1) du seuil de visibilité et effets prévus à partir du facteur de transmission oculaire (t) et de la lumière diffusée (SL = Stray Light) à 100 cd/m^2

calculate the "true" variability in visibility due to differences in contrast sensitivity of different individuals, it is necessary to devise some way of eliminating the variability in our measurements due to other causes such as measurement uncertainty. Since a more complete discussion of the method used for this purpose may be found elsewhere[15], a brief summary will suffice here. It is to be recalled that our measurement consists of 40 repeated measurements of threshold for each indivudal. These data have variability which includes errors of measurement and real differences among the individual observers. In order to separate the two sources of variability, we made 40 identical measurements on another day. The correlation between the results of the two sets of measurement on each observer was only .610. Therefore, in comparing variance among individuals, we take the conservation approach and consider that our measures of individual differences should be reduced by .610 to eliminate apparent individual differences actually due to measurement uncertainties. Additional data[15] support the conclusion that the extent of individual differences is independent of age. It was concluded, therefore, that individual differences among members of different age groups could be described by the construction shown in Figure 12.

de relier la performance visuelle aux paramètres de l'éclairage[14]. Pour calculer la "véritable" variabilité de visibilité due aux différences de sensibilité différentielle chez divers individus, il faut trouver un moyen d'éliminer la variabilité de nos mesures due à des raisons autres que l'incertitude des mesures. Nous nous contenterons de fournir ici un bref résumé, étant donné qu'une description plus détaillée de la méthode utilisée à cette fin existe déjà ailleurs[15]. Rappelons que notre méthode comporte la répétition de 40 mesures du seuil pour chaque individu. La variabilité de ces données comprend des erreurs de mesure ainsi que des écarts réels entre différents observateurs. Pour séparer les deux sources de variabilité, nous avons fait 40 mesures identiques un autre jour. La corrélation entre les résultats des deux ensembles de mesures, pour chaque observateur, n'a été que de 0,610. En comparant la variance entre individus, nous adoptons donc une approche conservative: nous considérons que nos mesures des écarts individuels devraient être réduites de 0,610 pour éliminer les écarts individuels apparents qui sont en réalité dus aux incertitudes des mesures. D'autres données[15] confirment la conclusion que la portée des écarts individuels est indépendante de l'âge. Nous avons donc conclu que les écarts individuels entre les membres de divers groupes d'âges pourraient être décrits par les courbes de la figure 12.

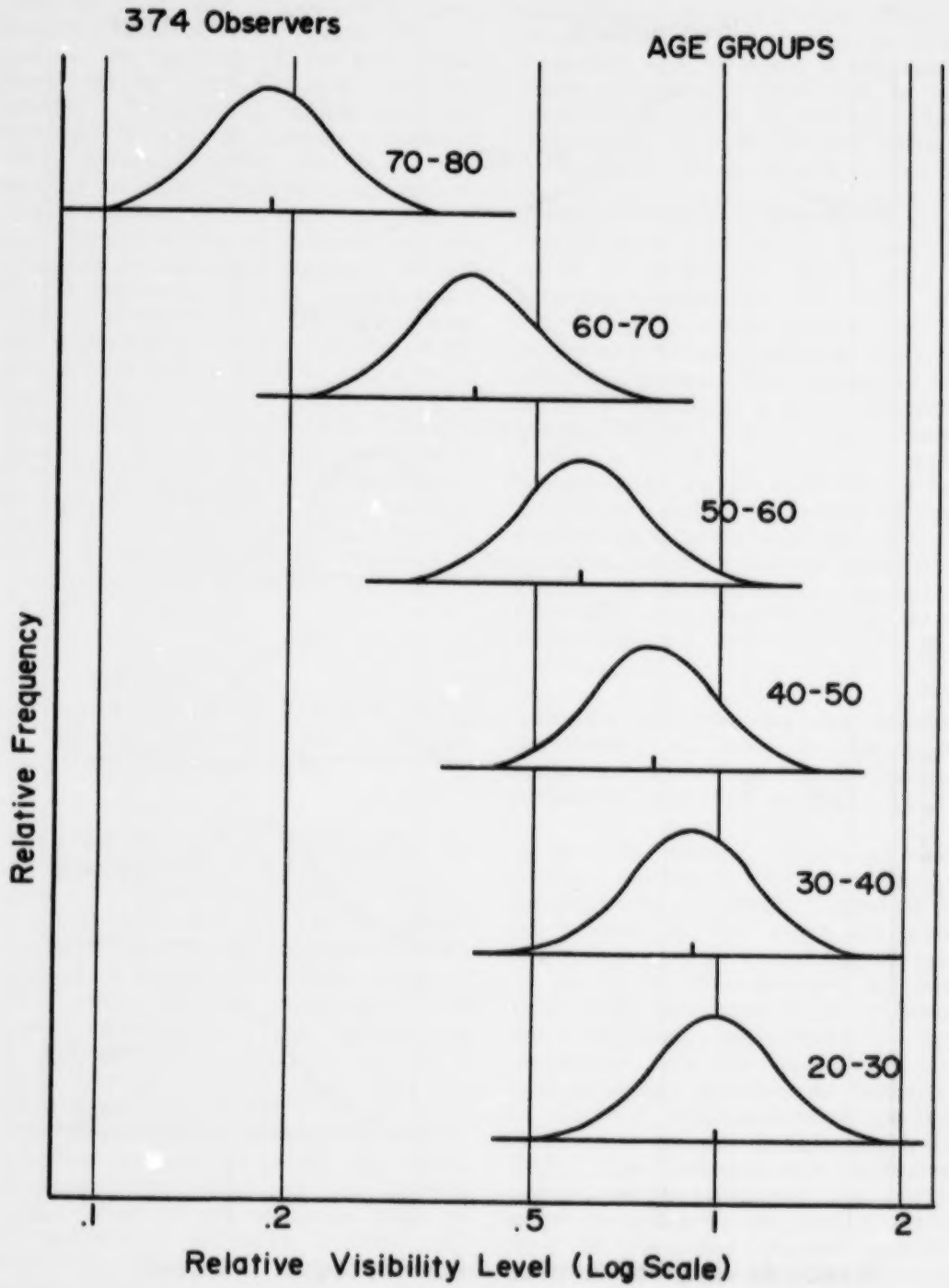

374 Observers
AGE GROUPS
70-80
60-70
50-60
40-50
30-40
20-30
Relative Frequency
.1
.2
.5
1
2
Relative Visibility Level (Log Scale)

FIGURE 12

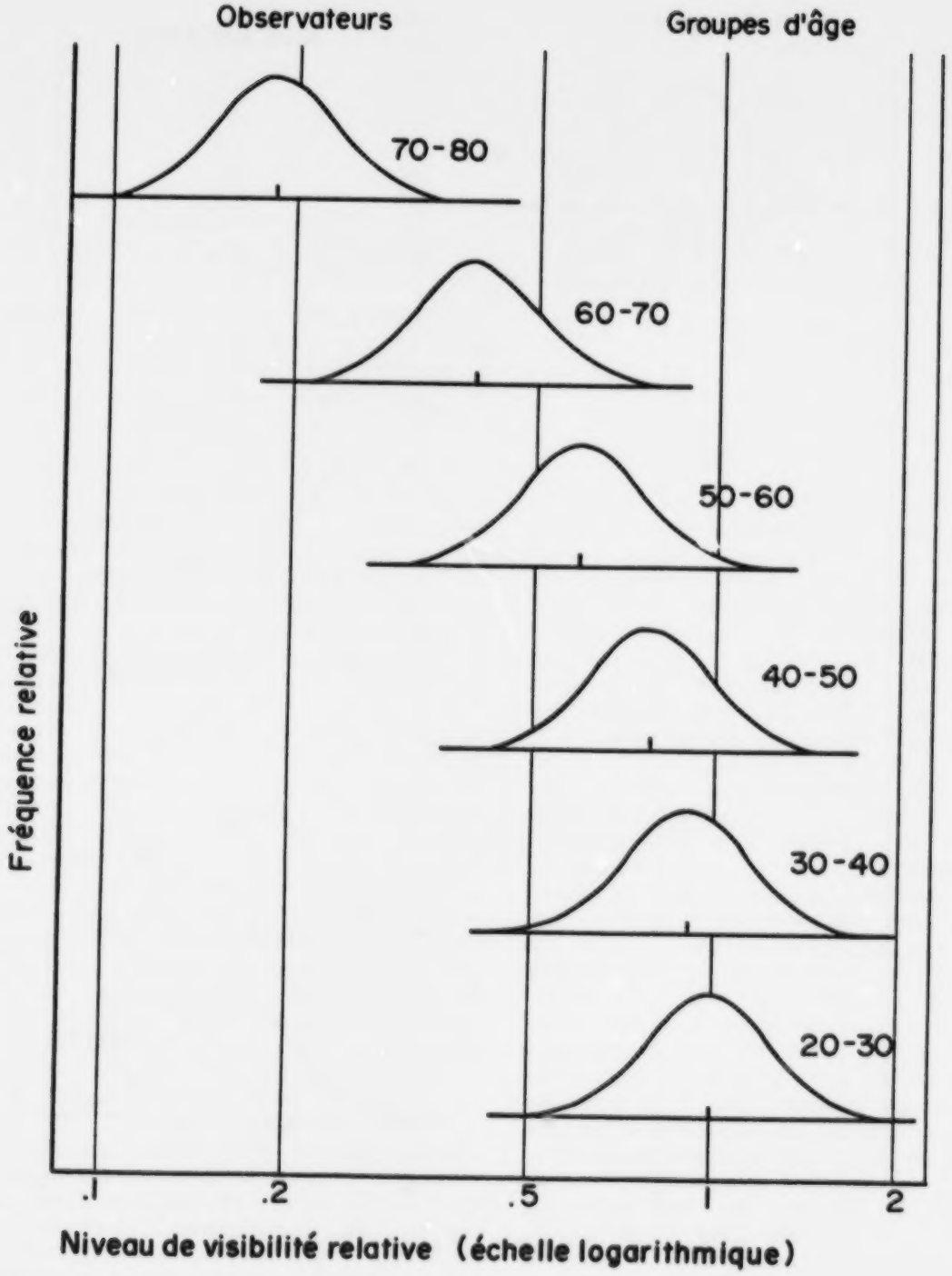

Observateurs
Groupes d'âge
70-80
60-70
50-60
40-50
30-40
20-30
Fréquence relative
.1
.2
.5
1
2
Niveau de visibilité relative (échelle logarithmique)

Figure 12

Here we have plotted the frequency of occurrence of particular relative visibility levels for distributions of individuals in each of five different age groups for a given reference luminance level. Recall that VL equals C, the contrast of the task visual display, divided by $\bar{C}$, the visibility threshold. Relative VL simply uses the average 20-30 year old reference observer as the baseline, making his VL = 1 and expressing all others relative to it. Around the mean relative VL for each age group is plotted the distribution of values of relative VL obtained by individual members of each group. It can readily be seen that there are individual members of many age groups attaining the same relative visibility level. Even 1 in 2000 of the members of the 70-80 age group has the same relative VL as a member of the 20-30 age group. Thus, a true assessment of the visibility level and in turn the visual performance provided by a given lighting system must be made by taking into account the distribution of visibility levels which will be provided to the population of individuals performing the visual task.

Nous avons tracé ici la fréquence d'occurence de niveaux de visibilité relative particuliers pour les distributions d'individus dans chacun des cinq groupes d'âge, pour un niveau donné de luminance de référence. Rappelons que VL égale le contraste de la tâche visuelle C, divisé par le seuil de visibilité $\bar{C}$. Le VL relatif utilise tout simplement, à titre d'étalon, l'observateur de référence âgé de 20 à 30 ans, ce qui rend son VL = 1 et permet d'exprimer tous les autres par rapport à celui-ci. Autour du VL relatif moyen pour chaque groupe d'âge, on trace la répartition des valeurs de VL relatives obtenues par les membres individuels de chaque groupe. On constate facilement que des membres individuels de nombreux groupes d'âge atteignent le même niveau de visibilité relative. Même dans le groupe d'âge de 70 à 80 ans, un membre sur 2 000 a le même VL relatif qu'un membre du groupe d'âge de 20 à 30 ans. Ainsi, une évaluation correcte du niveau de visibilité, et donc de la performance visuelle fournies par un système d'éclairage donné doit tenir compte de la distribution des niveaux de visibilité dont disposera la population d'individus qui doit exécuter la tâche visuelle.

The Effect of Age on the Factors Relating Real Lighting Situations to Reference Lighting (DGF, TAF, and CRF)

To this point we have been discussing the effects of individual differences as a function of reference luminance. Recall that real lighting situations can be equated to reference lighting by the use of three factors all of which are merely ratios of visibility under different conditions. As mentioned previously, these factors are CRF, the contrast rendering factor, DGF, the disability glare factor, and TAF, the transient adaptation factor. All of these are modifying factors allowing us to take quantitative account of what are often called qualitative differences in lighting systems. What effect does age have on these qualitative factors? First, our measurements of the increased percentage stray light as a function of observer age can be used directly to modify the disability glare (or ocular stray light) factor. DGF takes account of the effect upon the

Influence de l'âge sur les facteurs qui permettent de faire le lien entre les conditions d'éclairage réel et l'éclairage de référence (DGF, TAF et CRF)

Nous avons examiné jusqu'ici les effets des écarts individuels en fonction de la luminance de référence. Rappelons que l'on peut faire le lien entre les conditions d'éclairage réel et l'éclairage de référence au moyen de trois facteurs, qui sont tous simplement des rapports de visibilité dans des conditions différentes. Tel que mentionné antérieurement, ces facteurs sont le facteur de rendu du contraste CRF, le facteur d'éblouissement perturbateur DGF, et le facteur d'adaptation transitoire TAF. Ces facteurs nous permettent de cerner quantitativement des différences entre les systèmes d'éclairage, différences dont on considère souvent qu'elles sont qualitatives. Quel effet l'âge a-t-il sur ces facteurs qualitatifs? Premièrement, nos mesures de l'augmentation du pourcentage de lumière diffusée en fonction de l'âge de l'observateur peuvent être utilisées

visibility of the task visual display of nonuniformities in the patters of task surround luminance. Since percentage stray light increases with age after about age 44 as shown in Figure 3, it follows that nonuniformities in the environment will cause more disability glare and thus an increasing loss in visibility for the older observer. Thus we can conclude that the quality of a lighting installation is more important the older the observer.

directement afin de modifier le facteur d'éblouissement perturbateur (ou de lumière oculaire diffusée). Le facteur DGF rend compte de l'effet qu'ont sur la visibilité de la tâche visuelle les non uniformités de la distribution de la luminance dans le champ périphérique de la tâche. Étant donné que le pourcentage de lumière diffusée augmente avec l'âge au-delà d'environ 44 ans, comme l'indique la figure 3, des non uniformités du milieu entraînent un éblouissement perturbateur et donc une perte accélérée de visibilité chez l'observateur plus âgé. On peut donc conclure que plus l'observateur est âgé et plus la qualité d'une installation d'éclairage revêt de l'importance.

At roadway lighting luminance levels quality of lighting is even more important than for interior lighting. As Figure 4 shows, even the average young observer has 1-1/2 times more stray light at these levels than at interior levels. This means that DGF for roadway lighting has been underestimated up to now even for the average 20-30 year old. It should be noted that, strictly speaking, our measurements of stray light have been made at only two luminance levels, 100 cd/m^2 and 1.7 cd/m^2. Thus we do not know exactly how stray light varies as a function of luminance level for levels between the two, or beyond the two values in either direction.

Aux niveaux de luminance de l'éclairage routier, la qualité de l'éclairage joue un rôle encore plus important que dans l'éclairage d'intérieur. Comme le montre la figure 4, même l'observateur moyen jeune a 1 1/2 fois plus de lumière diffusée à ces niveaux qu'aux niveaux d'intérieur, ce qui signifie que le DGF pour l'éclairage routier a jusqu'ici été sous-estimé même pour la personne moyenne âgée de 20 à 30 ans. Notons qu'à strictement parler nos mesures de la lumière diffusée ont été effectuées à seulement deux niveaux de luminance, 100 cd/m^2 et 1,7 cd/m^2. Nous ne savons donc pas exactement comment la lumière diffusée varie en fonction du niveau de luminance, pour des niveaux situés entre ces deux-là, ou en dehors de la gamme définie par ces deux chiffres.

Second, we measured a transient adaptive effect in our older observers but in this case found no effect of age. The measurements we made on the older observers were only of what is called the glance transient adaptation factor. This simulates a situation in which the observer looks at a task visual display on a background of a particular luminance and then takes occasional brief glances (totalling not more than 2 seconds) at a brighter portion of the visual field. The luminance ratios we used ranged from 20 to 25 to 1. For these, there was no change in TAF with age. The highest luminance we were able to use was 2500 cd/m^2 (729 fl). In an extreme condition, such as glancing directly at oncoming headlights, the luminances would be beyond the limits within which we have measured. Indeed, they would be high enough to cause photochemical bleaching of the photopigments in the eye. Since this is a different mechanism of adaptation to luminance than the one presumably involved in our TAF data, there could be different effects as a function of age. This would explain empirical studies describing "slow recovery from glare" for older observers. More research on TAF is certainly needed to settle these questions.

Deuxièmement, nous avons mesuré un effet d'adaptation transitoire chez nos observateurs plus âgés, mais dans ce cas-là nous n'avons détecté aucun effet d'âge. Les mesures auxquelles nous avons asujetti les observateurs plus âgés ne concernaient que ce qu'on convient d'appeler "le facteur d'adaptation transitoire du coup d'oeil". Elles simulaient une situation où l'observateur regarde la tâche visuelle sur un fond ayant une luminance particulière, puis jette des coups d'oeil brefs (pas plus de 2 seconds, au total) sur une partie plus lumineuse du champ visuel. Nous avons utilisé des rapports de luminance allant de 20 à 25 à 1. Pour ces rapports-là, il n'y a pas eu de changement de l'indice TAF avec l'âge. La luminance la plus élevée que nous avons pu utiliser a été de 2 500 cd/m^2 (729 fl). Dans des conditions extrêmes, par exemple quand on regarde directement les phares d'une voiture qui s'approche, les luminances seraient supérieures à la gamme que nous avons mesurée. En fait, elles seraient suffisamment élevées pour entraîner une décoloration photochimique des photopigments de l'oeil. Étant donné qu'il s'agit ici d'un mécanisme d'adaptation à la luminance qui diffère de celui qui est à l'origine de nos données TAF, il pourrait y avoir des effets différents en fonction de l'âge, ce qui pourrait expliquer certaines études empiriques qui décrivent, pour les observateurs plus âgés, "un rétablissement lent suite à l'éblouissement". Des recherches supplémentaires sur le TAF seront certainement nécessaires pour régler ces questions.

Finally, it should be pointed out that although CRF, the contrast rendering factor, does not change with observer characteristics (by definition), its importance does. If an individual has poor sensitivity to contrast, obviously increasing the contrast of the task visual display will improve his visibility. Of course, increasing the luminance will also increase his visibility, but only by increasing his sensitivity to contrast. It has been shown that increasing the contrast by the same percentage will be 5 to 15 times more effective than increasing the luminance. Thus, we can conclude that the quality of a real lighting system becomes increasingly important the older the observer who is performing under it.

Conclusion

In conclusion, then, we have shown (1) that relative visual performance decreases with age as a function of reference luminance, (2) that the reason for this is that visibility level decreases with age by an amount specified by a visibility threshold multiplier, m_1, (3) that visibility decreases with age because of an increase in ocular stray light, because of a dramatic increase in the loss of transmittance of light through the eye, and because of important additional factors not yet explained, and finally (4) that individual differences in visibility level within age groups are so large that there is even some overlap (1 in 2000) in the distribution of visibility levels of 20-30 and 70-80 year age groups. Quantitative factors have been developed from this research which can be used in the CIE analytic model[1] to describe the influence of lighting parameters upon visual performance to take account of individual differences among members of the working population.

Enfin, notons que si le facteur de rendu du contraste CRF ne change pas en fonction des caractéristiques de l'observateur (par définition), l'importance du rôle qu'il joue se trouve par contre modifiée. Si une personne est peu sensible au contraste, une augmentation du contraste de la tâche visuelle améliorera évidemment sa visibilité. Bien sûr, on peut également augmenter sa visibilité en augmentant la luminance, mais uniquement si l'on augmente sa sensibilité au contraste. On a démontré qu'il est 5 à 15 fois plus efficace d'augmenter le contraste que d'augmenter la luminance, en parlant d'une augmentation à pourcentage égal. On peut donc conclure que plus l'observateur utilisant un système d'éclairage réel est âgé, et plus la qualité de ce système d'éclairage revêt de l'importance.

Conclusion

En conclusion, nous avons montré (1) que la performance visuelle relative diminue avec l'âge en fonction de la luminance de référence, (2) que cela est dû au fait que le niveau de visibilité diminue avec l'âge, d'un montant précisé par un multiplicateur m_1 du seuil de visibilité, (3) que la visibilité diminue avec l'âge à cause d'une augmentation de la lumière oculaire diffusée, à cause d'une augmentation soudaine de la réduction du facteur de transmission de lumière à travers l'oeil, et à cause d'autres facteurs importants non encore expliqués, et enfin (4) que les écarts individuels du niveau de visibilité à l'intérieur des groupes d'âge sont si importants qu'il y a même un chevauchement (1 sur 2 000) de la distribution des niveaux de visibilité des groupes d'âge de 20-30 et 70-80 ans. On a élaboré des facteurs quantitatifs, à partir de ces recherches, facteurs que l'on peut utiliser dans le modèle analytique CIE[1] afin de décrire l'influence des paramètres d'éclairage sur la performance visuelle, pour tenir compte des écarts individuels entre divers travailleurs.

References/Références

1. CIE Technical Committee on Visual Performance (TC-3.1), "An analytic model for describing the influence of lighting parameters upon visual performance. Volume I: Technical foundations; Volume II: Summary and application guidelines", **CIE Publication No. 19/2**, International Commission on Illumination, Paris, France, 1981. (Available from Klaus D. Mielenz, Secretary, U.S. National Committee of the CIE: c/o National Bureau of Standards, Washington, D.C. 20234, Vol. I, $31; Vol. II, $21.)

2. R.L. Henderson, J.F. McNelis and H.G. Williams, "A survey and analysis of important visual tasks in offices", Journal of the IES, Vol. 4, No. 3, 1975, p. 150; Preprint of paper by same title presented before the IES National Technical Conference, San Francisco, California, 1975.

3. O.M. Blackwell and H.R. Blackwell, "Individual responses to lighting parameters for a population of 235 observers of varying ages", **Journal of the IES**, Vol. 9, No. 4, 1980, p. 205.

4. O.M. Blackwell and H.R. Blackwell, "Visual performance data for 156 normal observers of varying ages", **Journal of the IES**, Vol. 1, No. 1, 1971, p. 3.

5. L. Ronchi, R. Sulli, and G. Longobardi, "The disability glare factor: calculated vs. experimental data", **Atti della Fondazione Giorgio Ronchi**, Vol. 29, 1974, p. 965.

6. L.L. Holladay, "Action of a light source in the field of view in lowering visibility", **Journal of the Optical Society of America**, Vol. 14, 1927, p. 1.

7. W.S. Stiles, "The effect of glare on the brightness difference threshold", **Proceedings of the Royal Society (London)**, Vol. 104B, 1929, p. 322.

8. A.J. Fisher and A.W. Christie, "A note on disability glare", **Vision Research**, Vol. 5, 1965, p. 565.

9. G. Longobardi, "On the variability of the disability glare factor", **Atti della Fondazione Giorgio Ronchi**, Vol. 28, 1973, p. 653.

10. W. Adrian, Personal communication. Data on 2095 subjects, ages 20-80 at 0.1 cd/m^2.

11. R.A. Weale, "Retinal illumination and age", **Transactions of the Illuminating Engineering Society (London)**, Vol. 26, No. 2, 1961, p. 95.

12. G. Verriest, "L'influence de l'âge sur les fonctions visuelles de l'homme", **Bulletin de l'Academie Royale de Medicine de Belgique**, VII Série, Tome XI, No. 8, 1971, p. 527.

13. J.S. Werner, Developmental change in scotopic sensitivity and the absorption spectrum of the human ocular media", Ph.D. dissertation, Brown University, 1979.

14. H.R. Blackwell, "Analysis of individual differences in visual performance to be expected with the current IES method for prescribing illumination", **Journal of the IES**, Vol. 6, No. 1, 1976, p. 3.

15. H.R. Blackwell, **Probabilistic measures of visual performance potential**, Position paper presented at the International Round Table Symposium: "The Integration of Visual Performance Criteria into the Illumination Design Process", Ottawa, Canada, January 1982.

Mrs. Marion G. Bassett P.E., F.I.E.S.
Associate Professor
University of Toronto
Department of Electrical Engineer
Toronto, Ontario
M5S 1A4

M^me Marion G. Bassett, P.E., F.I.E.S.
Professeur agrégé
Université de Toronto
Département de génie électrique
Toronto (Ontario)
M5S 1A4

ABOUT THE AUTHOR

Marion Bassett graduated in electrical engineering from the University of Toronto in 1950. She worked for the Research Division of the Hydro-Electric Power Commission of Ontario in the Illumination Section until the spring of 1955. From 1955 to 1957 she worked at the Research Laboratories of the General Electric Company, GEC (Wembley, England). While in England she was primarily engaged in the design of lighting equipment, in particular refractors for street lighting luminaires. During this time she obtained two British patents with Stanley Beggs. In 1957 she returned to Canada and joined the staff of the University of Toronto, first as a lecturer in the Department of Applied Physics and since July 1963 in the Department of Electrical Engineering where she now holds the rank of Associate Professor. In 1967 she was elected a Fellow of the Illuminating Engineering Society of North America (IESNA). She has been a member of the Canadian National Committee of the International Commission on Illumination (CIE) since 1960 and was elected President of the CNC/CIE for 1975-1979 and 1979-1983. She was a member of the IES Papers Committee for three years and was active for many years in the Education Committee of the Toronto Section of the IES. She is a member of the Association of Professional Engineers of Ontario and is an examiner in Illumination for the Royal Architecture Institute of Canada. She is also a member of the Chartered Institute of Building Services (CIBS) England.

L'AUTEUR

M^me Bassett a reçu un diplôme en génie électrique de l'université de Toronto en 1950. Elle a travaillé à la division des recherches, section de l'éclairage, à Hydro-Ontario jusqu'au printemps de 1955. De 1955 à 1957, elle a fait partie des laboratoires de recherche de la General Electric Company, à Wembley en Angleterre. Pendant son séjour en Angleterre, elle a essentiellement oeuvré à la conception de matériel d'éclairage, notamment de réfracteurs pour les luminaires de rue. C'est à cette époque qu'elle a obtenu les droits de deux brevets britanniques avec Stanley Beggs. En 1957, elle revenait au Canada et se joignait au personnel de l'université de Toronto, d'abord à titre de chargée de cours au département de la physique appliquée et, depuis juillet 1963, à titre de professeur agrégé au département de génie électrique. En 1967, M^me Bassett était élue membre de la Illuminating Engineering Society of North America. Elle est membre du Comité national canadien de la Commission internationale de l'éclairage depuis 1960 et a été élue présidente du comité de 1975 à 1979 et de 1979 à 1983. L'auteur a été membre du comité de rédaction de l'IES pendant trois ans et pris part activement pendant de nombreuses années aux travaux du comité de l'éducation de la section torontoise de la Société. Elle est membre de l'Association des ingénieurs professionnels de l'Ontario et examinatrice en éclairage pour le compte de l'Institut royal d'architecture du Canada. Elle est également membre du Chartered Institute of Building Services d'Angleterre.

ABSTRACT

Equivalent Sphere Illuminance (ESI) has been used in North America for nearly 10 years as a criterion for specifying and assessing visual performance. This paper discusses the difficulties encountered in achieving acceptable correlation between field measurements and pre-calculated values of ESI and Contrast Reduction Factor CRF.

RÉSUMÉ

Depuis bientôt 10 ans, on utilise en Amérique du Nord l'éclairement sphérique équivalent (ESI) en tant que critère permettant de spécifier et d'évaluer la performance visuelle. Cet article examine les difficultés qu'il y a à obtenir une corrélation acceptable entre les mesures réelles et les valeurs précalculées du ESI et du facteur de rendu du contraste (CRF).

PRESENT STATE OF CORRELATION BETWEEN FIELD MEASUREMENTS AND PRE-CALCULATED VALUES OF CRF AND ESI USING CURRENT INSTRUMENTATION

Introduction

The CIE Report 19/2.1 (TC-3.1) 1981, "An Analytic Model for Describing the Influence of Lighting Parameters Upon Visual Performance" coordinates most of the basic research information obtained during the past 20 years by researchers around the world. Efforts have been made in various countries to incorporate these concepts in their lighting design practice.

In 1972 The Illuminating Engineering Society of North America introduced Equivalent Sphere Illuminance (ESI) as the criterion for specifying visual performance[1]. Computer programs were developed for predicting ESI values at the design stage and then meters were developed to measure ESI in the field. In 1977 work was begun at the University of Toronto[2] on studies to check the correlation between predicted and measured values. This work was continued at another test facility from 1979 to early 1981[3,4]. The overall results obtained from these studies will be discussed briefly. The emphasis will be on the field measuring problems not on whether the fundamental basis established in CIE No. 19/2.1 is valid.

Correlation Results for Predicted and Measured Values of Visual Performance Parameters

The initial studies made at the University of Toronto were made with the only convenient meter available at the time (The Contrast/ESI meter designed by Mr. D. DiLaura). This meter consists of two specially designed transparent cylinders which are used with a good cosine - corrected photometer.

CORRÉLATION ACTUELLE ENTRE LES MESURES RÉELLES ET LES VALEURS CALCULÉES DU CRF ET DE ESI, AU MOYEN DES INSTRUMENTS DE MESURE EXISTANTS

Introduction

Le rapport CIE 19/2.1 (CT-3.1) 1981: "Modèle analytique permettant de décrire l'influence des paramètres d'éclairage sur la performance visuelle", coordonne la plupart des renseignements de base obtenus, au cours des 20 dernières années, par des chercheurs partout dans le monde. Dans divers pays, on a fait des efforts pour incorporer ces concepts à la pratique de la conception d'éclairage dans ces pays.

En 1972, la Illuminating Engineering Society, en Amérique du Nord, a adopté l'éclairement sphérique équivalent (ESI = Equivalent Sphere Illuminance) comme critère permettant de spécifier la performance visuelle[1]. On a mis au point des programmes d'ordinateur permettant de prévoir les valeurs ESI au stade de la conception; ensuite, on a mis au point des instrument de mesures de l'ESI permettant de mesurer le ESI sur le terrain. En 1977, l'université de Toronto[2] a commencé des études afin de vérifier la corrélation entre les valeurs prévues et les valeurs mesurées. Ces travaux se sont poursuivis dans une autre installation expérimentale entre 1979 et le début de 1981[3,4]. Nous examinerons brièvement les résultats généraux provenant de ces études. Nous mettront l'accent sur les problèmes de mesure sur le terrain, et non pas sur la question de savoir si les bases fondamentales qu'établie la publication CIE nº 19/2.1 sont valides ou non.

Résultats de corrélation des valeurs prévues et mesurées des paramètres de performance visuelle

Pour les premières études effectuées à l'université de Toronto, on s'est servi du seul instrument de mesure convenable qui existait à ce moment-là (l'instrument de mesure du contraste et de l'ESI, conçu par M. D. DiLaura). Cet instrument comprenait deux cylindres transparents de conception spéciale, employés avec un bon photomètre avec correction de cosinus.

Some typical results for the "raw" illuminance values and ESI values for one viewing direction and three cross-rows in the test room are shown in Figures 1 and 2 respectively. Since the measured values were "real" they were used as the reference values. Figure 1 shows a large increase in the error on the right side (East side of the room) for the "raw" illuminance values over and above a general error of between 20 and 30 per cent. This positionally related error increase was found to be caused by irregular "flashing" of the lens in the luminaires located in that part of the room. The luminaires were surface mounted units with a wrap-around lens. They were 10 years old and the manufacturer's intensity distribution data was used.

The ESI values in Figure 2 are all excessively large and do not reflect the same positional sensitivity as the "raw" values although the individual cylinder values do reflect the positional error. Values for Contrast Rendition Factor (CRF) were not plotted for these original tests. Although ambient temperature was monitored there was no temperature control for the space and the bulb wall temperature was not monitored. All surface reflectances were measured, the luminaires washed and new lamps installed.

Les figures 1 et 2 montrent respectivement quelques résultats types des valeurs d'éclairement "brutes" et des valeurs ESI pour une direction de vision et pour trois rangées transversales dans la salle d'essai. Étant donné que les valeurs mesurées étaient "réelles", ce sont elles qu'on a utilisées comme valeurs de référence. La figure 1 indique une forte augmentation de l'erreur du côté droit (le côté est de la pièce) pour les valeurs d'éclairement "brutes", en plus de l'erreur générale qui s'est située entre 20 et 30 pour cent. On a constaté que cette augmentation d'erreur pour des raisons positionnelles était due au "clignotement" irrégulier de la lentille des luminaires qui se trouvaient dans cette partie de la pièce. Les luminaires étaient des unités installées en surface, avec une lentille de 360 degrés. Ces luminaires étaient vieux de 10 ans; on a utilisé les données de répartition de l'intensité fournies par le fabricant.

Toutes les valeurs ESI de la figure 2 sont beaucoup trop grandes et ne reflètent pas la même sensibilité positionnelle que les valeurs "brutes", bien que les valeurs de cylindre individuelles reflètent l'erreur positionnelle. Pour ces premiers essais, on n'a pas tracé les valeurs du facteur de rendu du contraste (CRF = Contrast Rendition Factor). Bien qu'on ait surveillé la température ambiante, il n'y avait pas de contrôle de température du local, ni de surveillance de la température du mur porteur. On a mesuré les facteurs de réflexion de toutes les surfaces, on a lavé des luminaires et on a installé de nouvelles ampoules.

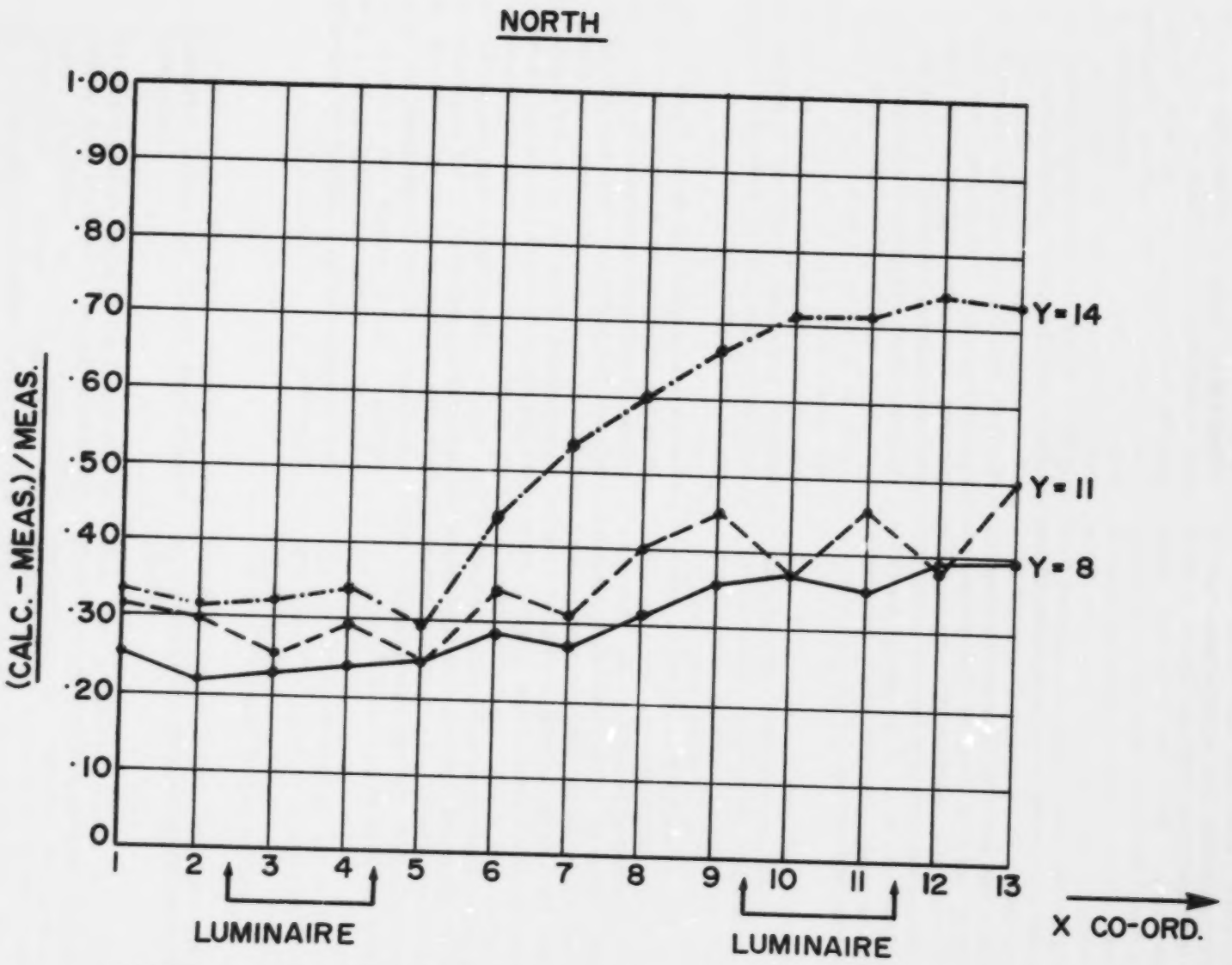


FIGURE 1: UNIVERSITY OF TORONTO: SYSTEM 1

ERROR CURVES FOR E S I METER FOR SAMPLE ROOM LOCATIONS
RAW ILLUMINANCE, E

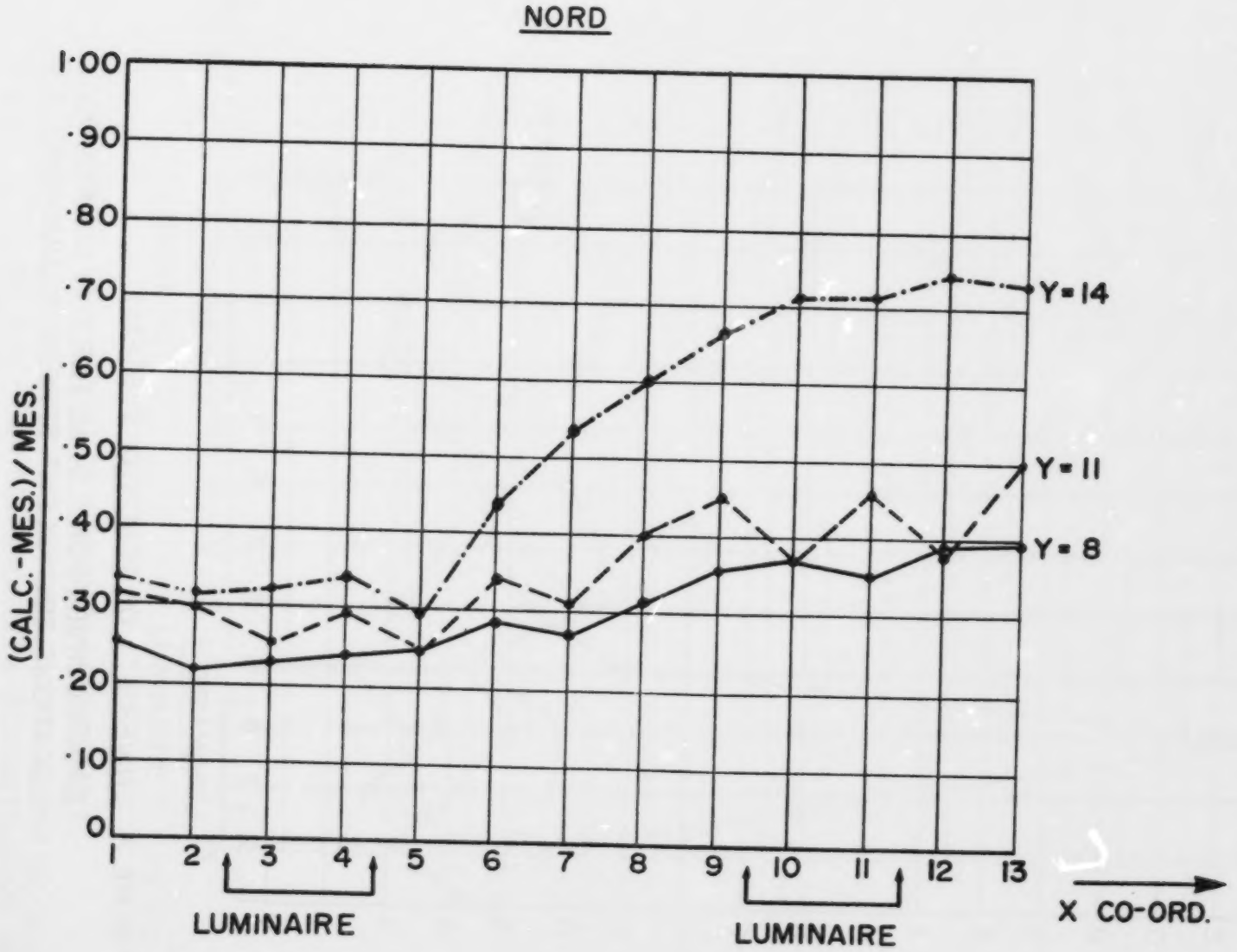


FIGURE 1: UNIVERSITÉ DE TORONTO: SYSTÈME I
COURBES D'ERREUR POUR L'INSTRUMENT DE MESURE DU ESI POUR DES ENDROITS-ÉCHANTILLONS DANS UNE PIÈCE ÉCLAIREMENT BRUT, E

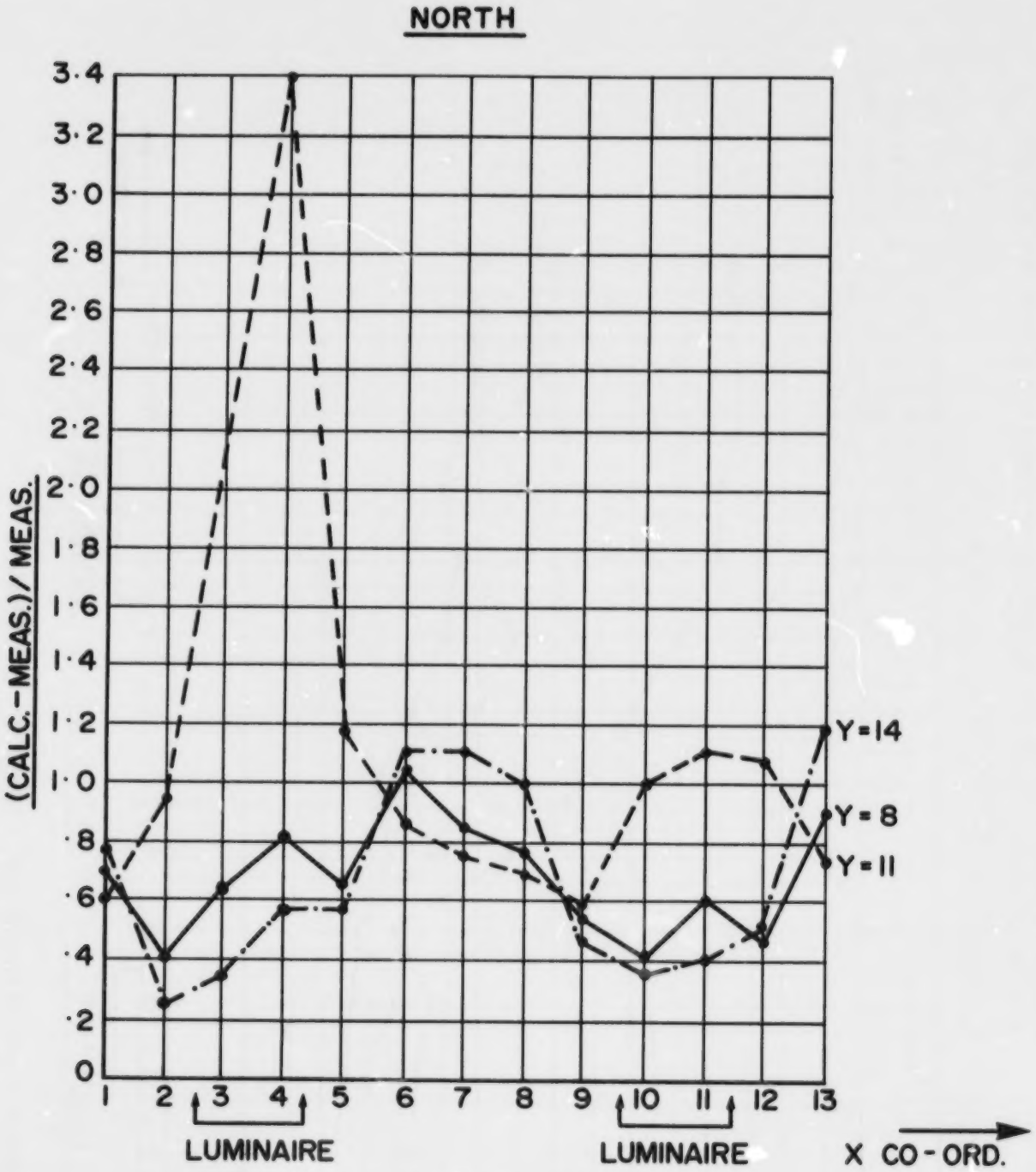


FIGURE 2: UNIVERSITY OF TORONTO: SYSTEM I

ERROR CURVES FOR E S I METER FOR SAMPLE ROOM LOCATIONS EQUIVALENT SPHERE ILLUMINANCE, E S I

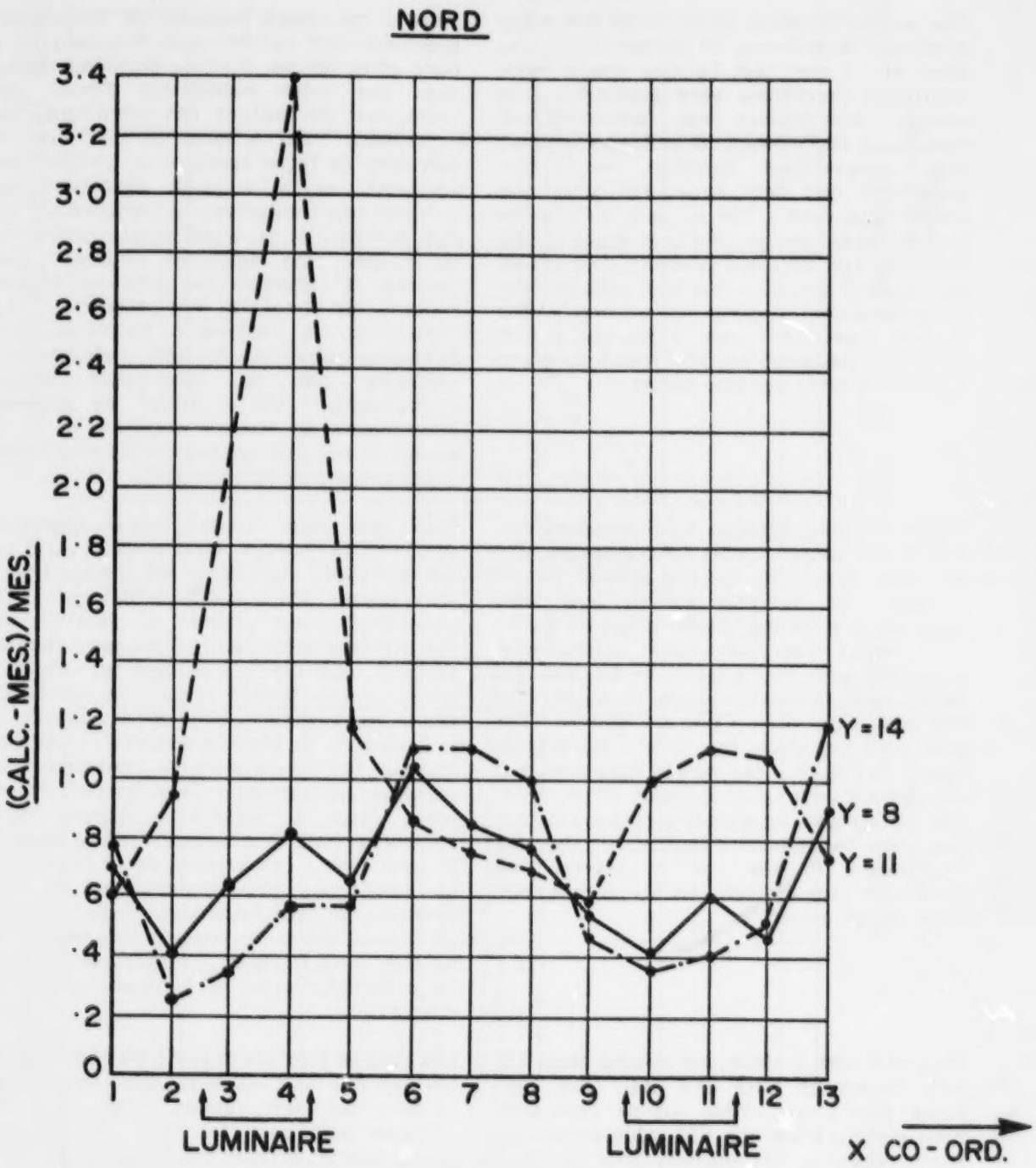


FIGURE 2: UNIVERSITÉ DE TORONTO: SYSTÈME I

COURBES D'ERREUR POUR L'INSTRUMENT DE MESURE DU E S I POUR DES ENDROITS-ÉCHANTILLONS DANS UNE PIÈCE ÉCLAIREMENT ÉQUIVALENT DANS LA SPHERE – E S I

The results of these initial tests left many questions unanswered so further work was done at another test facility where more controlled conditions were available. The ambient temperature was controlled and monitored continously. Representative bulb wall temperature readings were also monitored and new luminaires with new lamps were used. The surface reflectance factors were known and the space newly painted. The luminous intensity distribution of a typical luminaire had been measured by an independent testing laboratory. The original meter was used again and a new European designed meter (The Luminance Contrast Meter) was also tested.

Several lighting systems were measured but only a few sample results for one system are included here. The lighting system (No. 2) consisted of a wrap-around lens unit mounted in a ceiling coffer. Figure 3 shows the results for the "raw" illuminance measured with the original meter and the background luminance values obtained with the new Luminance Contrast Meter. The positional variation for "raw" illuminance noted in Figure 1 has now disappeared but the overall error is still about 20 per cent. The background luminance errors are higher and more positionally sensitive but this can be traced to the use of interpolated luminance factor values for the target used with the LC meter.

Figures 4 and 5 show the results with the two meters for CRF and ESI. The CRF value errors are within ±10 per cent with both meters while the ESI value errors are much higher. This magnification in error for the ESI values is due to the nature of the calculations required to obtain ESI. Any errors in the two measurements required to calculate CRF tend to cancel out.

Suite à ces essais initiaux, de nombreuses questions sont restées sans réponses; on a donc effectué des travaux supplémentaires dans une autre installation d'essai, qui permettait de réaliser des conditions plus contrôlées. On a ainsi pu contrôler et surveiller de façon continue la température ambiante, on a surveillé également les lectures représentatives de température du mur porteur, et on a utilisé des luminaires neufs avec des ampoules neuves. Les facteur de réflexion des surfaces étaient connus; le local a été repeint. La répartition de l'intensité lumineuse d'un luminaire type avait été mesurée au préalable par un laboratoire d'essai indépendant. On a utilisé de nouveau l'instrument de mesure original, et on a essayé un nouveau luminancemètre européen (luminancemètre de contraste).

Bien que nous ayons mesuré plusieurs systèmes d'éclairage, nous n'avons inclu ici que quelques échantillons des résultats pour un système. Ce système d'éclairage (n° 2) comprenait une unité à lentille de 360 degrés, montée dans un encastrement de plafond. La figure 3 indique les résultats d'éclairement "bruts" mesurés au moyen de l'instrument original, ainsi que les valeurs de la luminance de fonds obtenues au moyen du nouveau luminancemètre de contraste. La variation positionnelle d'éclairement "brut" notée dans la figure 1 a disparu, mais l'erreur globale atteint quant même environ 20 pour cent. Les erreurs de la luminance de fond sont plus importantes et plus sensibles au positionnement, mais cela est dû à l'utilisation de valeurs interpolées du facteur de luminance énergétique pour la cible utilisée avec le luminancemètre de contraste.

Les figures 4 et 5 indiquent les résultats de CRF et ESI pour les deux instruments. Les erreurs sur les valeurs CRF sont de ±10 pour cent pour les deux instruments, tandis que les erreurs sur la valeur ESI sont beaucoup plus élevées. Cette majoration de l'erreur sur les valeurs ESI est due à la nature des calculs nécessaires pour obtenir le ESI, tandis que toutes erreurs éventuelles sur les deux mesures nécessaires pour calculer le CRF ont tendance à s'annuler réciproquement.

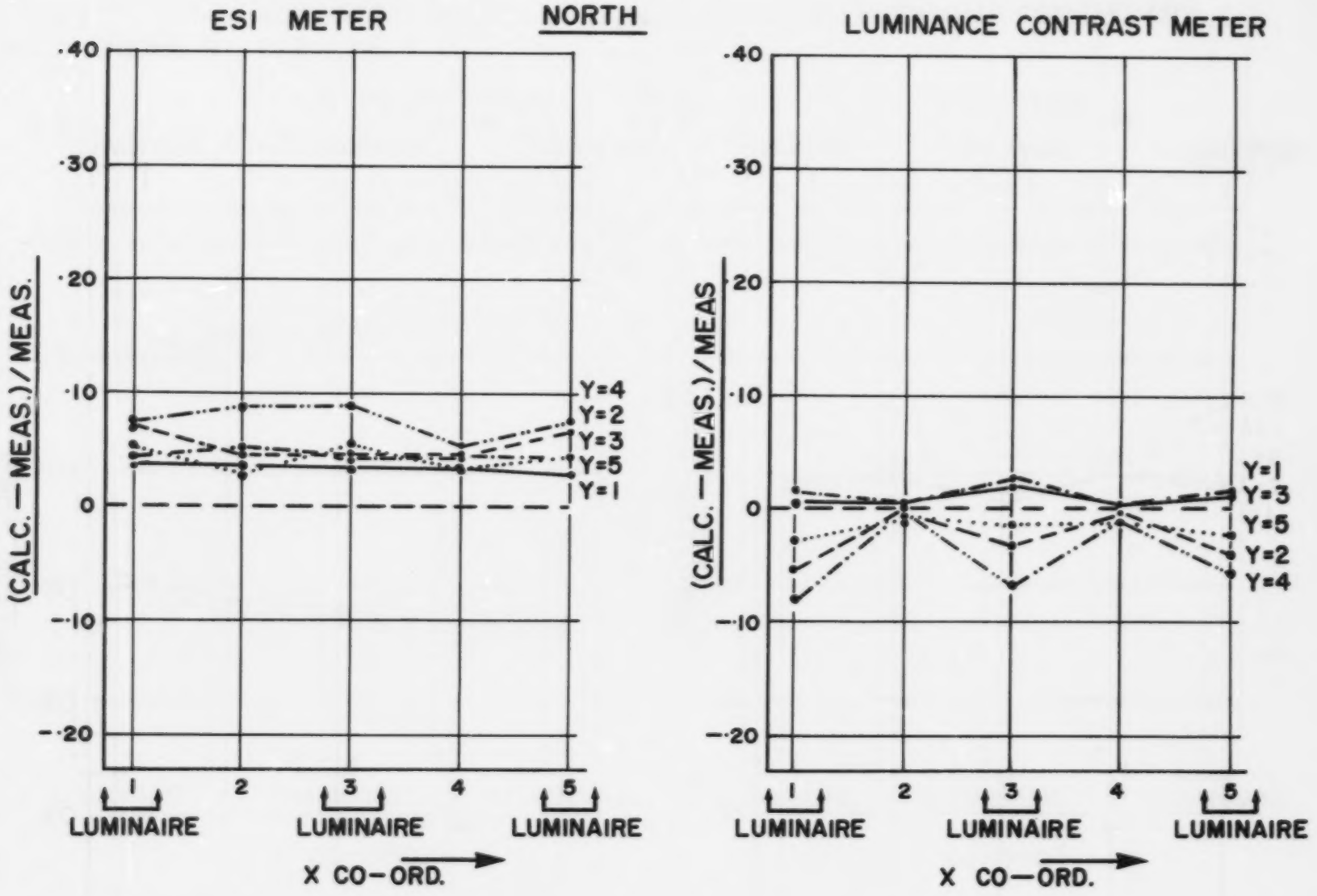


FIGURE 3: SYSTEM2
ERROR CURVES FOR SAMPLE TEST CONDITIONS

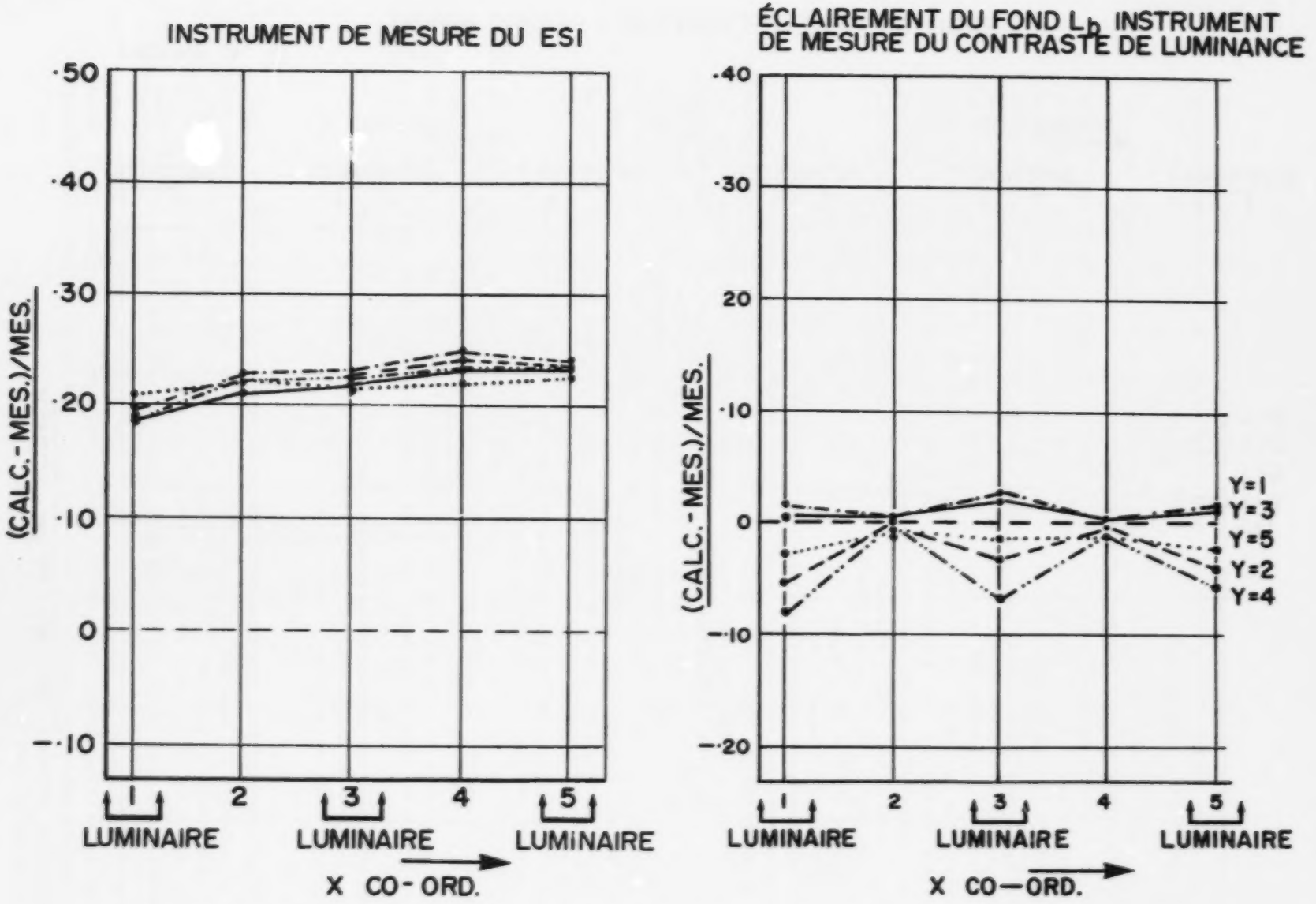


FIGURE 3: SYSTÈME 2
COURBES D'ERREUR POUR DES CONDITIONS D'ÉCHANTILLON D'ESSAI

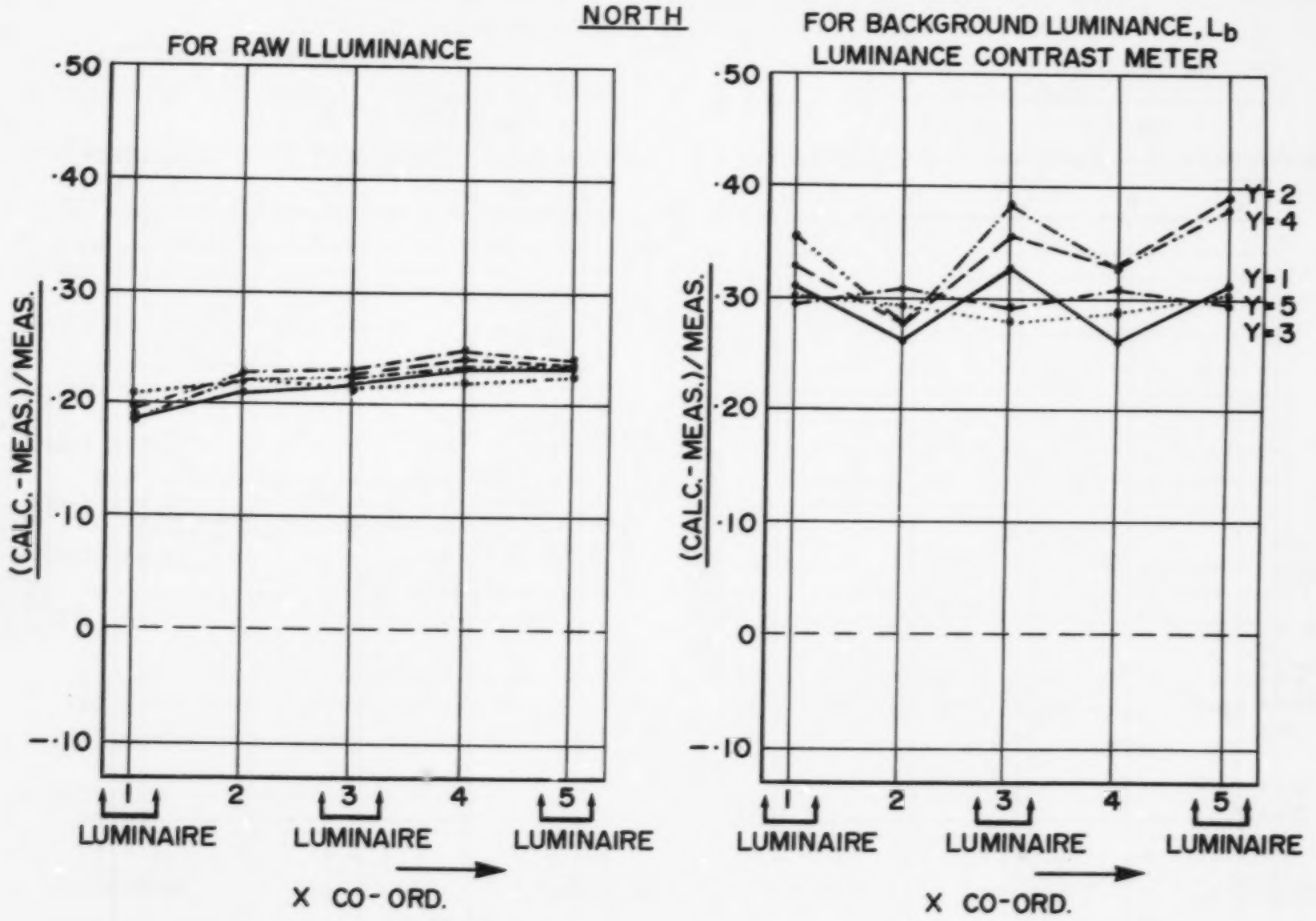


FIGURE 4: SYSTEM 2
ERROR CURVES FOR SAMPLE TEST CONDITIONS
CONTRAST RENDITION FACTOR, CRF

NORD

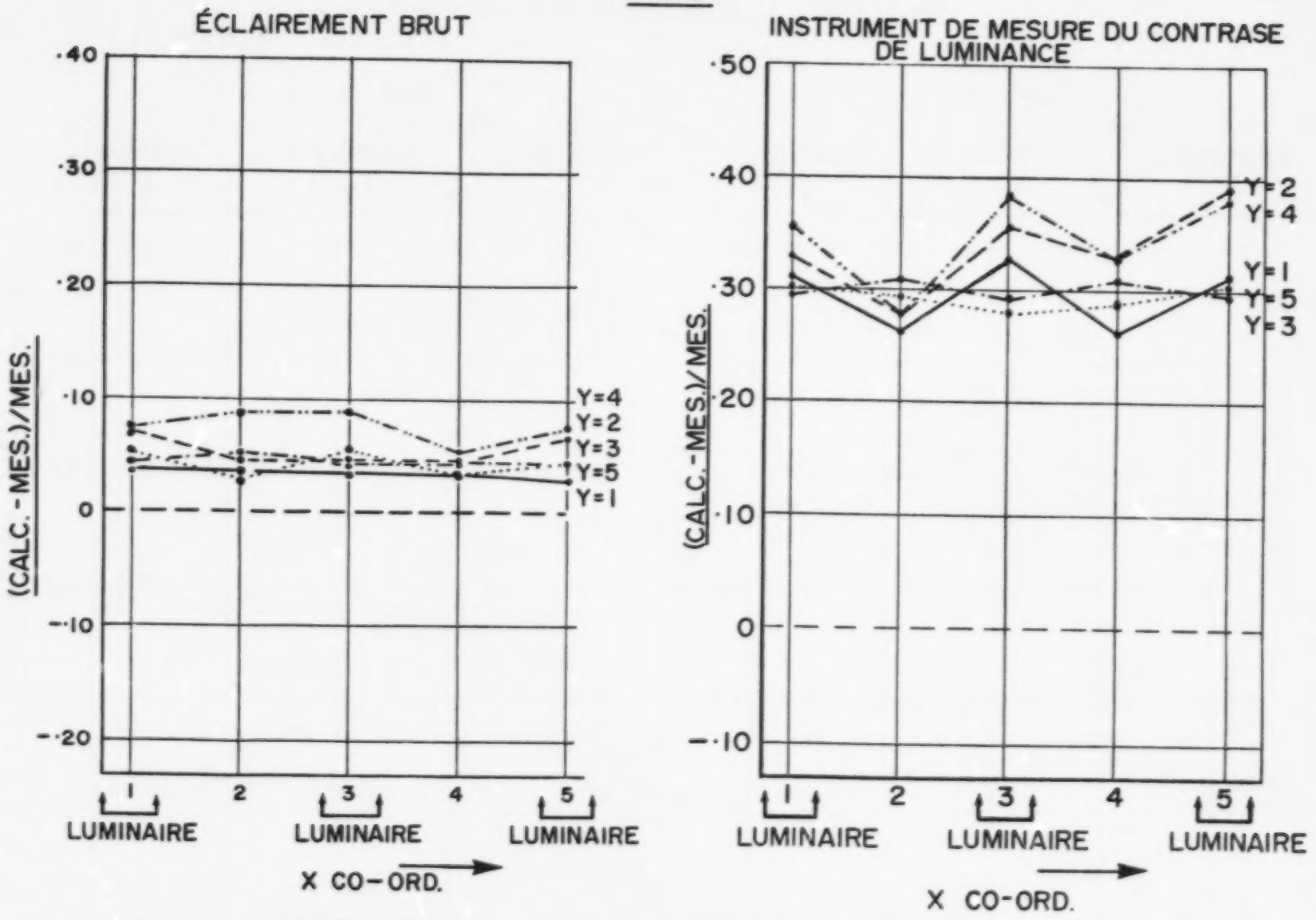


FIGURE 4: SYSTÈME 2
COURBES D'ERREUR POUR DES CONDITIONS D'ECHANTILLON D'ESSAI
FACTEUR DE RENDU DU CONTRASTE - C R F

NORTH

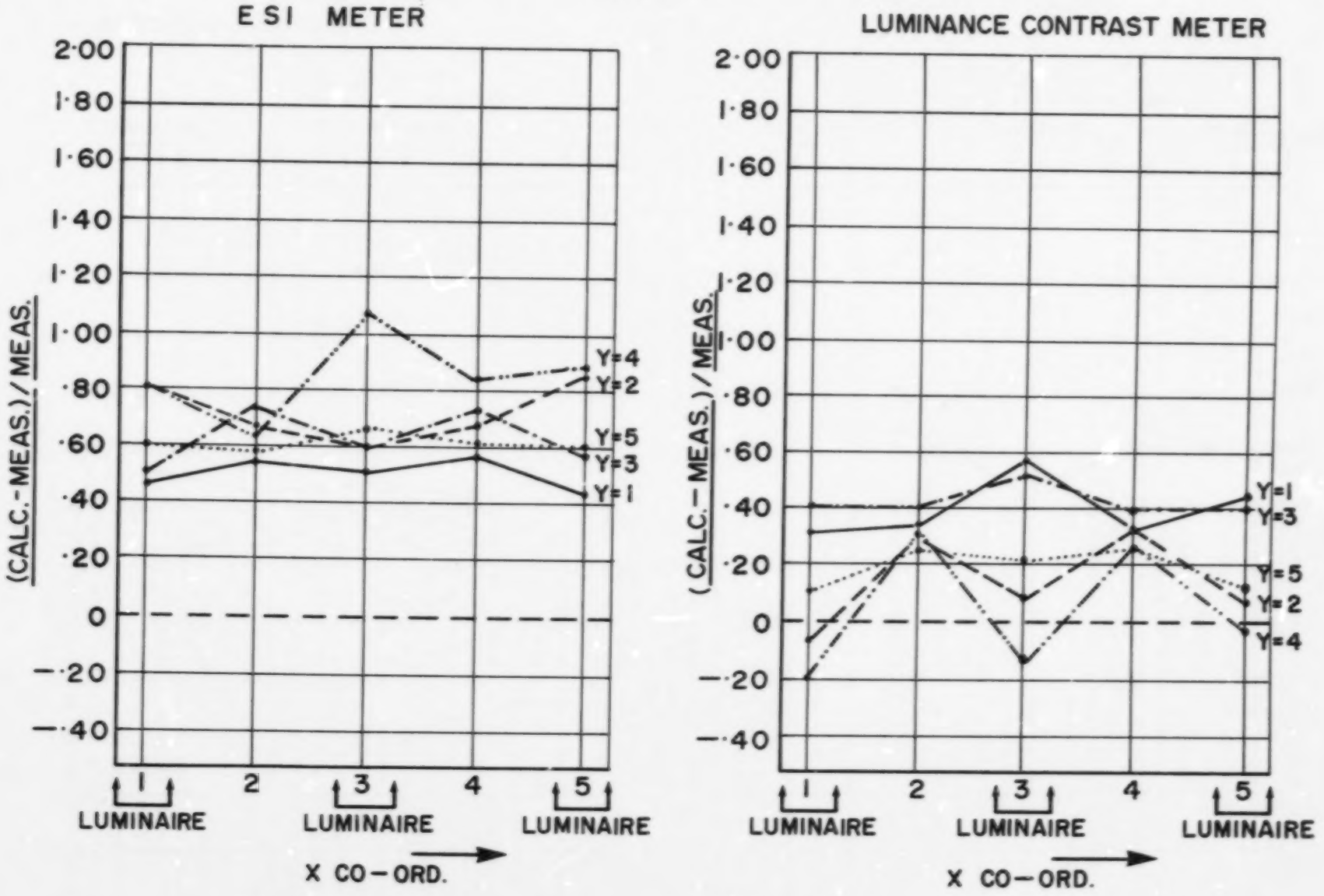


FIGURE 5: SYSTEM 2
ERROR CURVE FOR SAMPLE TEST CONDITIONS
EQUIVALENT SPHERE ILLUMINANCE, ESI

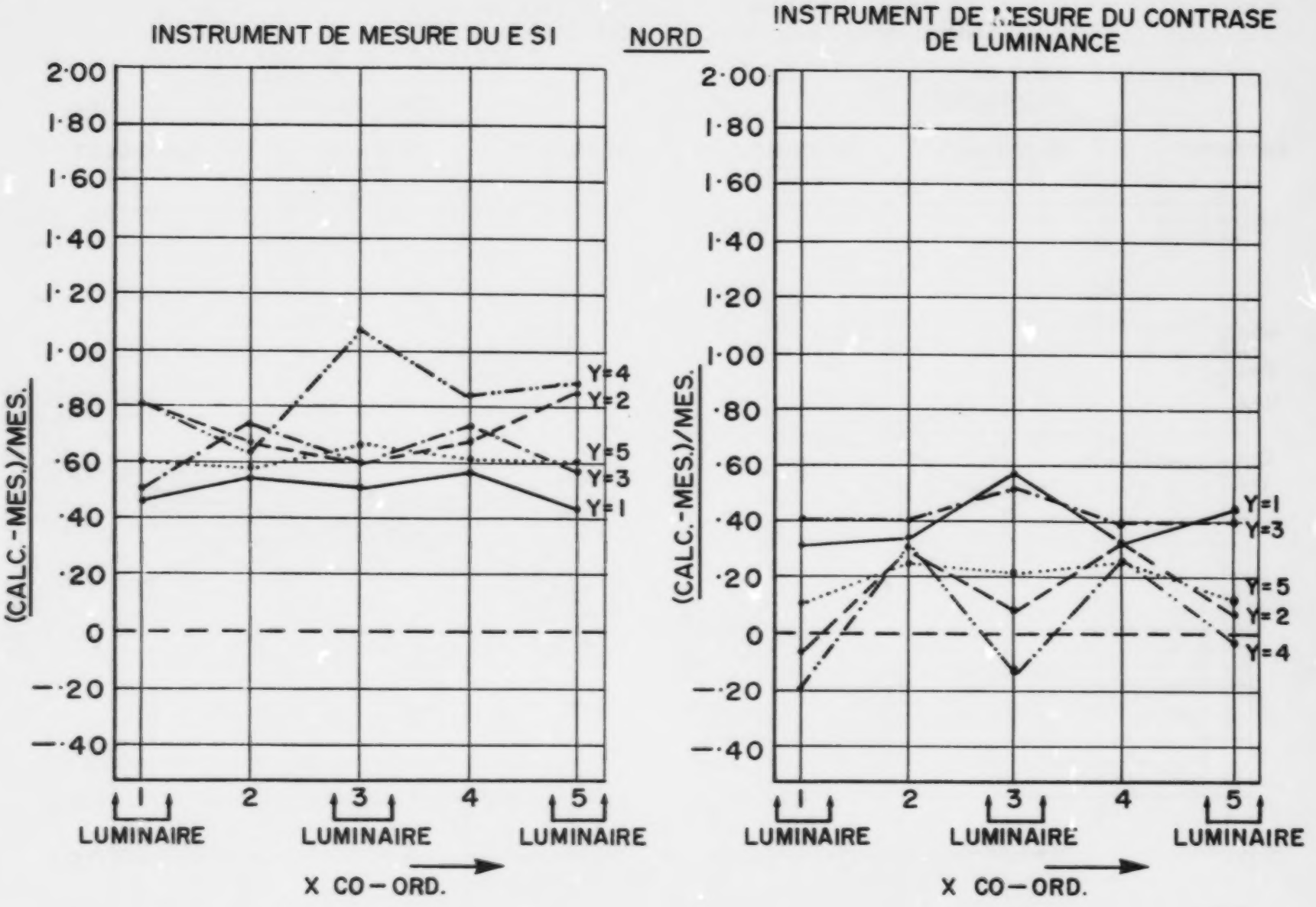


FIGURE 5: SYSTÈME 2
COURBES D'ERREUR POUR DES CONDITIONS D'ÉCHANTILLON D'ESSAI ÉCLAIREMENT ÉQUIVALENT DANS LA SPHERE - E S I

It should be noted that the targets used for the two meters are not the same so no comparison of absolute values between meters is possible. All comparisons are within one meter. Large errors in one meter relative to the other may be due to the accuracy with which the computer can model any one meter - target combination in the lighting system being tested.

Notons que les cibles utilisées pour les deux instruments ne sont pas identiques, et qu'il est donc impossible de comparer des valeurs absolues pour les deux instruments. Toutes les comparaisons se font pour un même instrument. Il se peut que des erreurs importantes d'un instrument relativement à l'autre soient dues à la précision avec laquelle l'ordinateur peut modéliser toute combinaison instrument-cible donnée, dans le cadre du système d'éclairage mesuré.

Measurements were also made under true field conditions in an office building in Calgary. The results of these measurements reflected the same trends with an increase in magnitude of about 10 per cent except for the CRF curves.

Nous avons également fait des mesures, dans des conditions réelles sur le terrain, dans un immeuble de bureaux à Calgary. Les résultats de ces mesures ont révélé les mêmes tendances, avec une augmentation de grandeur d'environ 10 pour cent, sauf pour les courbes CRF.

Comments on the Correlation Test Results

Commentaires sur la corrélation des résultats d'essai

When results such as these show a disappointing lack of correlation there is a tendency for the computer programmers and meter designers to feel that somehow their work is being attacked. Questions are asked about how carefully the measurements were made, how reliable was the equipment etc. It is important to emphasize that there is no evidence from these results that the computer programs are not correctly modelling the input data used or that the two meters are incorrectly measuring the conditions that physically exist. Better correlation obtained by other workers[5] has usually resulted by "correcting" the measured values to account for deviations of the real system parameters from the "ideal" values used in the computer calculations. While this method of error reduction may reassure the programmer and meter designer it does not address the real problem when true field measurements are being made. How well does the information used in the computer calculations model the system which is finally installed? What are the source of error inherent in this data and how realistically can these be "corrected" to achieve a reassuring correlation for the client and lighting engineer?

Lorsque des résultats comme ceux-ci révèlent un manque décevant de corrélation, les programmeurs d'ordinateur et les concepteurs d'instruments ont l'impression que l'on s'en prend à leur travail. Ils mettent alors en doute la façon dont on a effectué les mesures, la fiabilité de l'équipement, etc. Il importe de souligner qu'on ne peut pas conclure, à partir de ces résultats, que les programmes d'ordinateur ne modélisent pas correctement les données d'entrée utilisées, ni que les deux instruments mesurent incorrectement les conditions réelles. La corrélation plus étroite qu'on obtenue d'autres chercheurs[5] provient généralement du fait que l'on a "corrigé" les valeurs mesurées pour tenir compte des écarts des paramètres du système réel par rapport aux valeurs "idéales" utilisées dans les calculs informatiques. Bien que cette méthode de réduction de l'erreur serve à rassurer le programmeur et le concepteur d'instruments de mesure, elle ne résout pas le problème réel lorsqu'on fait des mesures véritables sur le terrain. Dans quelle mesure l'information utilisée dans les calculs informatiques modélise-t-elle correctement le système qui sera finalement installé? Quelles sont les sources d'erreurs inhérentes de ces données, et comment peut-on "corriger" ces données de façon réaliste afin d'obtenir une corrélation rassurante pour le client et pour l'éclairagiste?

An analysis of the results from the tests reported indicate how unreliable some of the input data may be. In the studies conducted at the University of Toronto there was an observable difference in the "flashing" of the lens which would of course alter its luminous intensity distribution. These luminaires were not new but were representative of the problems that can exist. Certain designs, such as a wrap-around lens, might be more prone to deformation when they are removed for cleaning etc. than a lay-in sheet lens in a troffer. A narrow bat-wing distribution would be seriously affected if the luminaire was not levelled when installed. The computer programs, for practical reasons, usually assume that the distributions are the same for all the luminaires in an installation.

Une analyse des résultats des essais signalés indique à quel point certaines données d'entrée peuvent être peu fiables. Dans les études effectuées à l'université de Toronto, il y avait une différence observable du "clignotement" de la lentille, ce qui aurait pour effet, évidemment, de modifier sa distribution d'intensité lumineuse. Ces luminaires, qui n'étaient pas neufs, étaient représentatifs du genre de probème qui peut exister. Certaines conceptions, telles les lentilles 360 degrés, sont peut-être plus susceptibles de déformation, lorsqu'on les enlève aux fins du nettoyage, etc., qu'une lentille plate encastrée. Une distribution en "aile de chauve-souris" étroite risque d'être sérieusement affectée si le luminaire n'est pas mis à niveau lors de son installation. Pour des raison pratiques, les programmes informatiques prennent généralement pour acquis que les distributions sont identiques pour tous les luminaires d'une installation donnée.

The light output of individual lamps may vary one from the other, even when new. Add to this variations due to bulb wall temperatures, room ambient conditions, ballast variations, depreciation etc. and the uncertainties grow.

La quantité de lumière provenant de chaque lampe peut varier d'une lampe à l'autre, même lorsque celles-ci sont neuves. Après y avoir ajouté les variations dues à la température du mur porteur, aux conditions ambiantes de la pièce, aux variations de ballast, à la dépréciation, etc., les incertitudes ne font qu'augmenter.

There are also potential problems in the installation itself. The mounting height, spacing, levelling of the luminaires, reflectances of the room surfaces may all only approximate the design values.

De plus, l'installation elle-même peut avoir certains problèmes. Il se peut que la hauteur d'installation, l'espacement, la mise de niveau des luminaires et les facteurs de réflexion des surfaces de la pièce ne soient qu'approximativement égales aux valeurs de calcul.

The final question to be asked is how much variation between design and installation is acceptable. Are the criterion we are trying to introduce too stringent and should we move to a more flexible series of guidelines for the designer. It is important for research workers, academics etc. to realize that many lighting designers and consultants will not take the time to do elaborate calculations if they are not convinced that a better design will result. Unfortunately the need to conserve energy has resulted in many designs being based totally on a watts/m^2 number with poor lighting conditions occurring as a result. While good visual performance is important we should not loose sight of the fact that it is only one element in a successful design.

Dernière question: quel est le degré acceptable de variation entre la conception et l'installation? Le critère que nous essayons d'adopter est-il trop sévère? Devrions-nous adopter une série de lignes directrices plus souples pour le concepteur? Il importe que les chercheurs se rendent compte que de nombreux concepteurs et experts en éclairage ne se donneront pas la peine de faire des calculs complexes à moins qu'il soient sûrs que la conception résultante sera meilleure. Malheureusement, le besoin de conserver l'énergie a fait que de nombreuses conceptions soient basées uniquement sur un critère de watts/m^2, avec pour résultat de mauvaises conditions d'éclairage. Une bonne performance visuelle est importante, mais ce n'est que l'un des éléments nécessaires à une bonne conception.

References/Références

1. 1972 IES Lighting Handbook, 5th edition, J.E. Kaufman (ed.) Illuminating Engineering Society of North America, New York.

2. M.G. Bassett, "Development of Visual Performance Criteria", Research contract report to Public Works Canada, Ottawa, (January 1978).

3. M.G. Gassett, J.A. Chrysler, and G.E. Mulvey, "Study and Analysis of Field Methods for Assessing Visual Quality/Performance in Computer Designed Lighting Systems", a paper presented at the IES National Technical Conference, Toronto, Canada, August 1981.

4. J. Allyson Chrysler "The Study and Analysis of the Practical Application of Current Methods of Assessing Visual Performance" M.A.Sc. Thesis, Department of Electrical Engineering, University of Toronto, September 1981.

5. "Application Procedures for Evaluation of Veiling Reflections in Terms of ESI", J. Illum. Eng. Soc., Vol. 2, No. 3 (1973).

   H.R. Blackwell, D.L. DiLaura and R.N. Helms, Part IV, "Final Validation of Measurement and Predetermination Method for Luminaire Installations", p. 299.

Ian Lewin Ph.D., FIES
Lighting Sciences Inc.
7730 E. Redfield Road
Scottsdale, Arizona 85260

Ian Lewin Ph.D., FIES
Lighting Sciences Inc.
7730 E. Redfield Road
Scottsdale, Arizona 85260

ABOUT THE AUTHOR

Ian Lewin is president of Lighting Sciences Inc. of Scottsdale, Arizona, a consulting company offering professional services in optics, vision and illumination. He holds a Ph.D., in Illuminating Engineering and has an extensive background in the design of refractors, reflectors and prismatic lenses.

Dr. Lewin is the author of numerous computer programs for the design of illumination equipment and analysis of visual comfort and performance effects. He is a Fellow of the Illuminating Engineering Society of North America and has held a number of committee chairmanships, including the Committee on Recommendations for Quality and Quantity of Illumination (RQQ). He has published approximately 40 papers, and holds patents in the United States and 11 foreign countries.

L'AUTEUR

Ian Lewin est président de la Lighting Sciences Inc. de Scottsdale, en Arizona, firme d'experts-conseils offrant des services professionnels en optique, en vision et en éclairage. Il a un doctorat en éclairagisme et possède une expérience considérable dans la conception des réfracteurs, des réflecteurs et des lentilles prismatiques.

M. Lewin est l'auteur de nombreux programmes informatiques de conception d'équipement d'éclairage et d'analyses de confort visuel et de performance. Il est membre de la Illuminating Engineering Society of North America et a été président de nombreux comités, dont le Committee on Recommendations for Quality and Quantity of Illumination (RQQ). Il a publié une quarantaine d'études et détient les droits de brevets en vigueur aux États-Unis et dans 11 autres pays.

VISUAL PERFORMANCE CRITERIA A REVIEW OF THE PROBLEMS AND OPPORTUNITIES

This report is not intended to be a technical dissertation on the details of CIE report 19/2 or other visual performance related documents. Rather, it is a general look at the problems and opportunities which are created by our fund of knowledge on visual performance, and in particular reflects the experiences (and lack thereof) existing in the United States.

A series of questions can be posed, some of which may be answered, but most of which are open to considerable debate.

Is the theory of visual performance, as represented by our most recent knowledge, correct and scientifically applicable to practical situations?

Discussion of this question surely could use the entire time allotted to this symposium, and it is not possible to provide a simple answer. The research which forms the basis of CIE 19/2 is well founded, cross-checked, and performed by competent researchers. However, we have limited knowledge in knowing to what extent that research can be extended to everyday visual work conditions. If we accept that there is a relationship between the research and practical conditions, then we can judge that lighting design in accordance with the research findings will result in an improvement in actual visual performance. This is not to say that we can provide a given predetermined level of visual performance by design, nor that a calculated improvement in visual performance will be necessarily achieved in practice when multiple design possibilities are considered. It appears reasonable, however, to assume that a performance improvement will be achieved if CIE 19/2 is used as guidance, although the magnitude and significance of the improvement may be unknown.

CRITÈRES DE PERFORMANCE VISUELLE - APERÇU DES PROBÈMES ET DES POSSIBILITÉS

Ce rapport ne se veut pas une dissertation technique sur les détails du rapport CIE 19/2 ou sur d'autres documents concernant la performance visuelle. C'est plutôt un aperçu général des problèmes et des possibilités concernant nos connaissances sur la performance visuelle, et en particulier l'expérience (ou le manque d'expérience) aux États-Unis.

Il y a toute une série de questions: on peut répondre à certaines d'entre elles, mais la plupart sont sujettes à débat.

La théorie de la performance visuelle, telle que représentée par nos connaissances les plus récentes, est-elle correcte et scientifiquement applicable aux situations pratiques?

Discuter rien que de cette question prendrait tout le temps dont nous disposons dans le cadre de ce colloque; de plus, il est impossible de lui donner une réponse simple. Les recherches sur lesquelles est basée la publication CIE 19/2 sont bien fondées; elles ont été vérifiées et exécutées par des chercheurs compétents. Cependant, nous ne savons pas vraiment à quel point cette recherche est applicable aux conditions de travail visuel quotidien. En admettant qu'il y a un rapport entre la recherche et les conditions réelles, une conception d'éclairage conforme aux résultats des recherches permettra d'améliorer la performance visuelle effective. Cela ne revient pas à dire que nous pouvons concevoir un niveau prédéterminé de performance visuelle, ni qu'une amélioration calculée de la performance visuelle sera nécessairement réalisée dans la pratique, lorsqu'on considère des possibilités de conception multiples. Cependant, il semble raisonnable de penser qu'on pourra améliorer la performance en se servant de la publication CIE 19/2 comme guide, même si la grandeur et la signification de cette amélioration restent inconnues.

This appears to be a goal for future research: the further investigation into the correlation of research results and methods of applying these to the real world situaiton.

Is the application of visual performance theory to practical conditions worth implementing?

Here a basic question arises: is lighting design becoming so complicated that we risk producing lighting over-design? Are the opportunities afforded by the application of our latest knowledge great enough to justify the required effort? We must all hope that the answer to this question is positive, otherwise an enormous effort spanning many years and many countries will be fruitless.

It appears reasonable to assume that in many practical design situations, even those where visual performance is important, the benefits of additional design effort may be minimal, while other situations may benefit greatly. This will be determined by the design pay-off, which may be in terms of financial considerations related to productivity, enhanced learning capabilities, or improved safety and well-being.

An excellent start in this area has been made by Blackwell and Dorsey, and it is to be hoped that such work continues. Particularly in highly industrialized societies, cost/benefit relationships must be investigated and may lead to the widespread use of visual performance design criteria.

Have designers attempted to use visual performance criteria to date, and if so, what has been the reaction to such criteria?

À l'avenir, les recherches devront porter sur la corrélation entre les résultats de recherche et les méthodes permettant de les appliquer à des situations réelles.

Cela vaut-il le coup d'appliquer aux conditions pratiques la théorie de la performance visuelle?

Il y a ici une question fondamentale: la conception d'éclairage devient-elle complexe au point où nous risquons de surdimensionner les systèmes d'éclairage? Les avantages qu'il y a à appliquer nos connaissances les plus récentes suffisent-ils pour justifier l'effort nécessaire? La réponse, on l'espère, sera affirmative; autrement, on aura gaspillé un énorme effort ayant couvert de nombreuses années et impliqué de nombreux pays.

Il semble raisonnable de supposer que dans de nombreuses situations de conception réelles, même dans celles où la performance visuelle est importante, les bénéfices d'un effort de conception supplémentaire seront minimes, tandis que dans d'autres situations il seront très importants. Cela sera déterminé par le rendement de la conception, en termes soit de considérations financières ayant trait à la productivité, soit de meilleures possibilités d'apprentissage, soit d'une sécurité et d'un bien-être plus grands.

Blackwell et Dorsey on lancé une excellente initiative dans ce domaine, et il faut espérer que ce travail continuera. Surtout dans les pays industrialisés, on doit examiner les rapports coûts/bénéfice, qui peuvent ensuite entraîner l'utilisation généralisée des critères de performance visuelle dans la conception.

Les concepteurs ont-ils essayé d'utiliser, à ce jour, des crières de performance visuelle? Dans l'affirmative, quelle a été la réaction à ces critères?

Representatives of each country will answer this question differently. Experience in the United States is limited, but attempts have been made to introduce visual performance criteria, both on an individual project basis, and on a statewide basis by state governments. Results have been mixed. This speaker can summarize his own impressions of these efforts as follows:

Performance design criteria have been highly simplified, typically being reduced to the specification of minimum and/or average ESI levels.

With such oversimplification, the design criteria may become illogical and ineffective. Without such oversimplification, many specifiers, designers, and equipment suppliers may be baffled by the apparently overwhelming complexities.

Performance design criteria are a nuisance to some luminaire manufacturers and many consulting engineers. Others, however, are stimulated in improved product design and lighting system layout.

Lighting system initial costs in general have risen when performance criteria are used. Improved visual performance design generally will increase the cost of luminaires and/or design services. It is important to realize, however, that increases in initial costs may be more than offset by direct benefits such as reduced power costs over the life of the lighting system, and increased human performance. In addition there are indirect benefits such as improved feelings of well being and esthetics which may accompany the visual performance improvements.

Les représentants de chaque pays donneront sans doute une réponse différente à cette question. L'expérience aux États-Unis est fort limitée, mais il y a eu des tentatives d'introduire les critères de performance visuelle, tant pour de projets précis que pour tout un État (par les gouvernements d'État). Les résultats n'ont pas été probants. Je résumerai comme suit mes propres impressions concernant ces efforts:

On a fortement simplifié les **critères de performance pour la conception;** généralement, on les a réduit à la simple spécification de niveaux ESI moyens et/ou minimum.

Face à une telle simplification excessive, les critères de conception risquent de devenir illogiques et inefficaces. Par contre, faute d'une telle simplification excessive, de nombreux concepteurs et fournisseurs d'équipement risquent d'être déroutés par les complexités apparemment insumontables.

Certains fabricants de luminaires et de nombreux experts-conseils considèrent que les **critères de performance pour la conception** ne font qu'introduire une complication superflue. D'autres, par contre, se voient stimulés à concevoir de meilleurs produits et à mieux agencer les systèmes d'éclairage.

Les coûts **initiaux des systèmes d'éclairage** ont généralement augmenté suite à l'utilisation de critères de performance. Une meilleure conception pour la performance visuelle augmente généralement le coût des luminaires et/ou des services de conception. Il faut réaliser, cependant, que l'augmentation des coûts initiaux sera plus que compensée par les bénéfices directs tels la réduction des coûts d'électricité pendant la vie utile du système d'éclairage, ainsi que par une performance humaine améliorée. De plus, il y a des bénéfices indirects, comme le confort et l'impression esthétique plus favorable qui peuvent accompagner l'amélioration de la performance visuelle.

The widespread use of performance criteria will not necessarily lead to ongoing cost increases, but may lead to the establishing and acceptance new design methods and improved equipment, once the initial product development and experience has been gained.

Have attempts in designing for visual performance actually produced improved lighting systems or other benefits?

The use of performance criteria on a limited basis in the United States appears to have produced improved lighting design, although the improvement is difficult to quantify and highly variable. Examples of the benefits are:

Some designers have acquired increased awareness of visual performance and its meaning, although few are familiar with more than the overall concepts of CRF and ESI.

Such awareness should lead to an overall improvement in lighting design by those genuinely interested in improved engineering, although at present designers who have attempted performance design are very much in the minority. More advanced design techniques, including computerization, have been developed and are becoming standard in the better design offices.

Lighting manufacturers have been forced to develop improved equipment in order to place bids in states requiring the meeting of performance specifications. The resulting luminaires then have become available for projects on a nationwide basis, providing the opportunity for widespread improvements in lighting design.

L'utilisation générale des critères de performance ne va pas nécessairement entraîner des coûts sans cesse croissants; elle peut faire que l'on établisse et accepte de nouvelles méthodes de conception ainsi que d'équipement amélioré, une fois que l'on aura mis au point le produit et qu'au aura acquis de l'expérience.

Les tentatives visant à axer la conception sur la performance visuelle ont-elles effectivement produit des systèmes d'éclairage améliorés ou d'autres bénéfices?

Bien que l'amélioration soit difficile à quantifier et très variable, l'utilisation de critères de performance, sur une base limitée, aux États-Unis, semble avoir produit une meilleure conception d'éclairage. Voici quelques exemples:

Certains concepteurs sont devenus **plus conscients** de la performance visuelle et de sa signification, bien que peu d'entre eux aient avancé au-delà d'une connaissance des concepts généraux de CRF et ESI.

Cette prise de conscience devrait permettre une amélioration d'ensemble de la conception d'éclairage chez ceux qui sont véritablement intéressés dans le domaine, bien qu'actuellement les concepteurs qui ont essayé d'axer la conception sur la performance représentent une nette minorité. On a mis au point des techniques de conception plus avancées, y compris des techniques informatiques; celles-ci deviennent la norme dans les bureaux de conception plus respectés.

Les fabricants d'équipement d'éclairage ont été obligés de mettre au point un équipement amélioré afin d'obtenir des contrats dans les États où il faut se conformer à des spécifications de performance. Les luminaires résultants sont alors devenus disponibles pour des projets partout aux États-Unis, permettant ainsi de généraliser l'amélioration de la conception d'éclairage.

CONCLUSIONS

In summary, it is the opinion of the author that visual performance criteria can and will be applied to practical lighting design, but that such application will not satisfy the scientific purist or those hoping to achieve predetermined levels of performance. Considerable resistance will be found from many manufacturers and design practitioners, yet improved equipment, design techniques and lighting methods ultimately will result. To maximize the potential benefits, however, considerable investigations still are to be desired to determine the optimum method of relating research findings to everyday practice in lighting design. This effort must include the education of design specialists in the resulting techniques.

CONCLUSIONS

En somme, je pense que l'on peut et l'on doit appliquer les critères de performance visuelle à la conception pratique d'éclairage, mais qu'une telle application ne pourra pas satisfaire le scientifique "pur-sang", ni ceux qui espèrent réaliser des niveaux de performance prédéterminés. Malgré la résistance considérable de nombreux fabricants et concepteurs, on verra en définitive un équipement, des techniques de conception et des méthodes d'éclairage améliorés. Pour maximiser les bénéfices éventuels, il faudra cependant entreprendre de nombreuses études pour déterminer le moyen optimal de relier les résultats de recherche à la pratique quotidienne de la conception d'éclairage. Dans le cadre de cet effort, il faudra familiariser les spécialistes en conception avec les techniques qui en résulteront.

James W. Griffith, P.E., FIES
3921 Caruth Blvd.
Dallas, Texas 75225

ABOUT THE AUTHOR

James William Griffith, was educated at Texas Technological College, the University of Utah and Southern Methodist University receiving a BSEE and MSIE. His business experience includes: Partner, K.G. Associates; Consultant to AIA R/C Technical Advisory Group of BEPS; HUD-DOE Redesign Project and Harvard Summer Institute; American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; Consultant to Life Cycle Cost-Benefit Analysis to HEW, HUD, NBS, DOE, CSC, DOD; Consultant to Libbey-Owens-Ford Company, Toledo, Ohio, J-M Research. He is an active member of several professional committees and societies: to list a few would be The Illuminating Engineering Society as a Fellow; President, and Member of Daylighting Committee; Member and Chairman, Committee on Recommendations for Quality and Quantity of Illumination, Member, Office Lighting Committee; Member, School lighting Committee, Member, Energy Management Committee. He has published several articles since 1953.

James W. Griffith, P.E., FIES
3921 Caruth Blvd.
Dallas, Texas 75225

L'AUTEUR

James William Griffith a fait ses études au Texas Technological College, à l'University of Utah et à la Southern Methodist University. Il est titulaire d'un BSEE et d'un MSIE. Il a travaillé pour diverses entreprises et organismes, à de nombreux titres: K.G. Associates; expert-conseil auprès du AIA R/C Technical Advisory Group du BEPS; HUD-DOE Redesign Project and Harvard Summer Institute; American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; expert-conseil en analyse coûts-bénéfices sur la durée de vie auprès de HEW, HUD, NBS, DOE, CSC, DOD; expert-conseil auprès de la Libbey-Owens-Ford Company de Toledo, Ohio, J-M Research. M. Griffith a pris activement part aux travaux de nombreuses associations professionnelles dont: la Illuminating Engineering Society à titre de membre; le Daylighting Committee à titre de président et de membre; le Committee on Recommendations for Quality and Quantity of Illumination à titre de président et de membre; le Office lighting Committee à titre de membre; le School lighting Committee à titre de membre, et le Energy Management Committee à titre de membre. Depuis 1963, il a publié de nombreux articles.

POSITION STATEMENT ON LIGHTING PERFORMANCE CRITERIA

The ultimate criteria of evaluation of any lighting system is one based on how effective it is in providing the desired results. The return one gets in benefits for the investment in costs is probably the best criterion to use to evaluate lighting systems as it allows one to trade off the costs and benefits of the lighting systems with other design elements of the built environment.

To date, the studies on visual performance and visual performance potential do not seem to be applicable to absolute total performance. To validate their use in lighting evaluation, a correlation between total performance under normal working conditions and the predicted performance must be demonstrated. This does not mean to correlate predictions to fixed laboratory experiments where the subject is forced to work under reference lighting systems with artificial pay-offs. In actual work situations the subjects use judgement in performing their task. If a bit of information is critical, the subject will not guess at it but will do other things to compensate for the lack of visual information under the existing condition (e.g., the subject will take longer time, alter the relation of the lighting system to task or even change the work place). Some of the alternatives to performing in a fixed manner as is usually done in laboratory experiments may be more significant than the predicted visual performance potential.

LES CRITÈRES DE PERFORMANCE EN MATIÈRE D'ÉCLAIRAGE

L'ultime critère d'évaluation de n'importe quel système d'éclairage c'est de savoir à quel point ce système donne les résultats voulus. Le rendement de l'investissement est probablement le meilleur critère pour évaluer les systèmes d'éclairage, car il permet de comparer les coûts et les bénéfices du système d'éclairage à ceux des autres éléments de conception du bâtiment.

À ce jour, les études sur la performance visuelle et sur le potentiel de performance visuelle ne semblent pas pouvoir s'appliquer à la performance totale absolue. Afin de valider leur utilisation dans l'évaluation de l'éclairage, il faut d'abord démontrer une corrélation entre la performance d'ensemble dans les conditions de travail normales et la performance prévue. Il ne s'agit pas ici de mettre en corrélation les prévisions avec des expériences fixes en laboratoire, où le sujet est forcé à travailler sous des systèmes d'éclairage de référence, avec des données de rendement artificielles. Dans des situations de travail réelles, les sujets usent de leur jugement lorsqu'ils exécutent leurs tâches. Lorsqu'un brin d'information est critique, le sujet n'essayera pas de le deviner, mais fera d'autres choses pour compenser le manque d'informations visuelles dans les conditions existantes (c.-à-d. que le sujet mettra plus de temps à faire la chose, modifiera la relation entre le système d'éclairage et la tâche, et même changera de place de travail). Certaines autres méthodes permettant d'éviter une exécution figée, comme c'est le cas dans les expériences de laboratoires, peuvent être plus significatives que le potentiel de performance visuelle prévu.

Since there are many variables involved in total performance, it would seem that a study of predicted visual performance and actual total performance should require a statistical approach using analysis of variance to determine significance and correlation. Without demonstrated correlation between visual performance and total performance, I do not think it prudent to use any visual performance prediction technique to evaluate absolute performance of lighting systems.

Puisque la performance d'ensemble met en jeu de nombreuses variables, l'étude de la performance visuelle prévue et de la performance d'ensemble effective semble exiger une approche statistique, où l'analyse de la variance servirait à déterminer la signification et la corrélation. Sans une corrélation démontrée entre la performance visuelle et la performance d'ensemble, il ne me semble pas prudent d'utiliser une quelconque technique de prévision de la performance visuelle afin d'évaluer la performance absolue de systèmes d'éclairage.

The question of whether or not the procedures set forth in CIE 19/2 correlate with supra-threshold visibility must be answered before any absolute evaluation can be justified. However, even if they did correlate, with supra-threshold laboratory studies, these would have to correlate to total performance before they could be used for absolute criteria of evaluation. This difference in correlation may not negate the use of CIE 19/2 in evaluating the relative merits of lighting systems. If two lighting systems have the same costs and meet required nonvisual performance criteria, CIE 19/2 may provide criteria that ranks one system above another. If differences in costs exist, it might be practical to establish a value by consensus for one of the metrics set forth in 19/2.

Avant de pouvoir justifier quelle évaluation absolue, il faut savoir si les procédures indiquées dans CIE 19/2 correspondent ou non avec la visibilité supraliminale. Cependant, même si elles correspondent avec des études supraliminales en laboratoires, celles-ci doivent alors correspondre à la performance d'ensemble avant qu'on puisse les utiliser en tant que critères d'évaluation absolus. Il se peut que cette différence de corrélation n'empêche pas l'utilisation de CIE 19/2 aux fins d'évaluation du mérite relatif de divers systèmes d'éclairage. Lorsque deux systèmes d'éclairage ont les mêmes coûts et répondent aux critères de performance non visuelle requis, le rapport CIE 19/2 offrira peut-être des critères permettant de dire qu'un système est supérieur à l'autre. Lorsqu'il y a des différences de coût, il sera peut-être plus pratique d'adopter, de commun accord, une valeur donnée pour les étalons précisés dans 19/2.

Both ESI and CRF have value in evaluating the relative merits of two or more lighting systems. I think visual performance is more sensitive to CRF than ESI, but I think the concept will be more difficult for the practitioners to understand than ESI. However, I don't think either will be accepted by the practitioner as a design tool.

Tant le ESI que le CRF ont une certaine valeur lorsqu'il s'agit d'évaluer les mérites relatifs de deux ou plusieurs systèmes d'éclairage. Je pense que la performance visuelle est plus sensible au CRF qu'à l'ESI, mais je pense également que le concept du CRF sera plus difficile à comprendre, pour les concepteurs, que le ESI. Toutefois, je ne pense pas que l'un ou l'autre soit accepté dans la pratique en tant qu'outil de conception.

It is very difficult for the practitioner to measure either ESI or CRF. When I first started using the ESI meter I developed, I found it very difficult to get consistant readings. My first reaction was that the meter was inaccurate. After further use and experimentation, I came to the conclusion that the meter was very accurate, but not very precise. The lack of precision seems to be caused by the insensitivity of the ESI metric to total performance. I think this same problem will exist with any ESI meter even if a precise reading can be obtained by using a physical measure rather than a visual one.

Pour le concepteur, il est très difficile de mesurer le ESI ou le CRF. Lorsque j'ai commencé à utiliser l'instrument de mesure du ESI que j'ai mis au point, il m'a été très difficile d'obtenir des lectures cohérentes. À prime abord, je me suis dit que l'instrument était inexact. Après un certain temps d'utilisation et d'expérimentation, j'en suis arrivé à la conclusion que l'instrument était très exact, mais pas très précis. Le manque de précision semble dû à l'insensibilité de l'étalon ESI à la performance d'ensemble. Je pense donc que ce même problème affectera n'importe quel instrument de mesure de l'ESI, même s'il permet d'obtenir une lecture précise au moyen d'une mesure physique plutôt que d'une mesure visuelle.

A CRF meter may overcome some of the difficulty found in the ESI meters, but I think a better lighting system than the sphere must be used as the reference source. I think the sphere is such a poor lighting system for visual performance of some tasks that a CRF based on it might not be useful as some other reference lighting systems (e.g., a uniform area source of one solid angle located perpendicular to the line of sight and at the plane of the task in an otherwise black hemisphere).

Une instrument de mesure du CRF pourrait surmonter certaines difficultés que présentent les instruments de mesure de l'ESI, mais je pense qu'il faudra utiliser comme source de référence un système d'éclairage meilleur que la sphère. À mon avis, la sphère est un système d'éclairage tellement mauvais pour la performance visuelle de certaines tâches, qu'un CRF basé là-dessus risque d'être moins utile que d'autres systèmes d'éclairage de référence (par exemple une source surfacique uniforme où un angle solide situé perpendiculairement à la ligne de visée et au plan de la tâche, dans un hémisphère par ailleurs noir).

It might be more productive to use the concepts in CIE 19/2, or any other visual performance concepts, and develop guidelines for lighting design using consensus where hard facts are not available. This might take the following form:

Lorsque des données réelles ne sont pas disponibles, il serait peut-être plus productif d'utiliser les concepts de CIE 19/2, ou tout autre concept de performance visuelle, et élaborer de commun accord des lignes directrices pour la conception d'éclairage. On pourrait suivre, à cette fin, les étapes suivantes:

1. Identify the veiling reflection glare zone.
2. Specify the illumination level on the task or task luminance.
3. Specify the maximum luminance or intensity allowable in the veiling reflection glare zone. This could be a multiple of the task illumination or luminance.

1. Identifier la zone d'éblouissement des réflexions de voile.
2. Spécifier le niveau d'éclairement sur la tâche ou la luminance de tâche.
3. Spécifier la luminance ou l'intensité maximale permissibles dans la zone d'éblouissement des réflexions de voile; cette valeur pourrait être un multiple d'éclairement ou de la luminance de tâche.

Dr. V.H.C. Crisp, B.Sc. ARCS, MSIBS
Head of Lighting Section
Building Research Establishment
Garston, Watford WD2 7JR
Great Britain

Dr V.H.C. Crisp, B.Sc. ARCS, MSIBS
Head of Lighting Section
Building Research Establishment
Garston, Watford WD2 7JR
Grande-Bretagne

ABOUT THE AUTHOR

Dr. V.H.C. Crisp. First degree in Physics at Imperial College of Science and Technology, Londong University 1962-65. One year R & D in industry, followed by doctorate degree work in Metal Physics at University of East Anglia, UK 1966-69. Post doctorial research in metal Physics using positron annihalation techniques (UEA 1970-73). Current projects include a reappraisal of daylighting design, the application of lighting controls and an assessment of the visual performance approach to lighting design all with an emphasis on energy consciousness. Member of the Chartered Institute of Building Services and active on a number of its committees and panels including the Council and Technical Committee of the Lighting Division (formerly the UK IES). Member of the UK National Illumination Committee and its board of administration as well as its panels dealing with TC 3.1 (visual performance) and TC 3.4 (Discomfort Glare). Consultant to CIE TC 4.2 (Daylighting).

L'AUTEUR

Dr V.H.C. Crisp a obtenu son diplôme de premier cycle en physique au Imperial College of Science and Technology de la London University en 1965. Après une année de travaux de recherche et développement en industrie, il a fait son doctorat en physique des métaux à la University of East Anglia, au Royame-Uni, de 1966 à 1969. Ses travaux post-doctoraux en physique des métaux faits de 1970 à 1973 à la même université portaient sur les techniques d'annihilation positronique. Ses travaux courants portent sur la réévaluation de la conception des systèmes d'éclairage utilisant la lumière du jour, sur l'utilisation des commandes d'éclairage et sur l'évaluation d'une méthode fondée sur la performance visuelle pour la conception des systèmes d'éclairage, l'accent étant mis pour tous ces travaux sur l'économie de l'énergie. L'auteur est membre du Chartered Institute of Building Services et membre d'un certain nombre de comités et de groupes de travail, notamment du Council and Technical Committee of the Lighting Division (auparavant l'IES du Royaume-Uni). Il est aussi membre du National Illumination Committee du Royaume-Uni et de son conseil d'administration, ainsi que du groupe de travail chargé d'étudier les travaux du comité d'étude TC 3.1 (Performance visuelle) et du comité TC 3.4 (Éblouissement d'inconfort). L'auteur est enfin expert-conseil auprès du comité TC 4.2 (Éclairage utilisant la lumière du jour) de la Commission internationale de l'éclairage.

A BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT VIEW OF CIE 19/2

COMMENT LE CENTRE DE RECHERCHE DU BÂTIMENT VOIT-IL LA PUBLICATION CIE 19/2?

BACKGROUND

The initial attraction of the CIE visual performance approach, apart from its intrinsic interest, was as a possible method of attacking the problem of energy conscious lighting design, which, in essence, involves the achievement of recommended or agreed lighting criteria with minimal use of electrical energy.

The setting of recommended lighting criteria, for example working plane illuminances, is by necessity never simply a scientific exercise. In general, increasing benefits, visual performance potential say, requires increased resource use and the trade off between the two is made on various grounds with the scientific input regarding visual performance potential an important factor. Even for a simple situation where all benefits and resource allocations can be uniquely costed and a choice of lighting system made on, for example, minimum life cycle cost, it is a value judgement or 'policy' decision to base that choice on cost.

It is now a matter of common experience that the need to conserve energy has forced us to re-examine the way in which the trade offs have been made. In principle, of course, the development of the visual performance approach will provide better scientific input to the decision making process but it also provides the opportunity to apply an alternative philosophy which to some extent eliminates many of the judgemental difficulties.

SOMMAIRE

L'attrait initial de l'approche "performance visuelle" de la CIE, à part son intérêt intrinsèque, était qu'elle promettait une conception d'éclairage économe en énergie, pourvu que l'on se conforme aux critères d'éclairage recommandés ou convenus, avec une utilisation minimale d'énergie électrique.

Choisir les critères d'éclairage recommandés, par exemple l'éclairement des surfaces de travail, c'est plus qu'une simple tâche scientifique. En général, pour augmenter les bénéfices (par exemple le potentiel de performance visuelle), il faut utiliser plus de ressources; les proportions optimales entre les deux sont jugées selon divers critères, y compris l'opinion scientifique concernant le potentiel de performance visuelle, qui est un facteur important. Même dans une situation simple où on peut fixer un prix unique pour chaque bénéfice et chaque allocation de ressources, et où l'on choisit un système d'éclairage basé par exemple sur le coût minimal de la vie utile du système, le fait même de faire ce choix en fonction du coût est un jugement de valeur ou une décision de "politique".

Le besoin de conserver l'énergie nous a forcé à réexaminer la façon dont on a fait ces choix dans le passé. En principe, évidemment, grâce à l'approche basée sur la performance visuelle, le processus de prise de décision recevra sans doute un meilleur appui scientifique, mais cette approche permet également d'appliquer une autre philosophie, qui élimine dans une certaine mesure de nombreuses difficultés de jugement.

Using the concepts and parameters of CIE 19 it is, in principle, possible to measure and describe visual conditions (for visual work) in existing lighting installations which represent current practice. In effect these descriptions can become working standards and energy conscious design becomes the achievement of equivalent visual conditions by the use of less energy.

Au moyen des concepts et paramètres de CIE 19, on peut en principe mesurer et décrire les conditions visuelles (pour le travail visuel) des installations d'éclairage existantes, qui représentent la pratique actuelle. En effet, ces descriptions peuvent devenir des normes de travail; une conception économe d'énergie revient alors à réaliser des conditions visuelles équivalentes en utilisant moins d'énergie.

The above statement necessarily over-simplifies the situation but it was regarded as a potentially fruitful approach to the use of CIE 19 which was likely to provide useful results in the relatively short term, particularly at the time of CIE 19/1 with its attractive simplicity of a single Relative Contrast Sensitivity (RCS) function and the possibility of all visual performance results being describable in terms of a single function.

L'affirmation ci-dessus est nécessairement une simplification de la situation réelle, mais on l'a considérée comme étant une approche propice à l'utilisation de CIE 19, approche qui donnerait probablement des résultats utiles à relativement court terme, surtout au moment où parassait la publication CIE 19/1, avec la séduisante simplicité d'une seule fonction de sensibilité différentielle relative (RCS = Relative Contrast Sensitivity), car elle laissait entrevoir la possibilité de décrire, au moyen d'une seule fonction, tous les résultats concernant la performace visuelle.

The evolution of CIE 19/2 has, of course complicated matters and is, in effect, a manifestation of the misgivings that were felt about the original all too attractive simplicity. Despite the development of the visual performance analytic model, BRE's current work is still aimed at examining what appears to us to be implicit assumptions that underpin the framework of the model.

Bien sûr, la publication de la CIE 19/2 a compliqué les choses; elle représente, en effet, une expression des doutes relatifs à la simplicité par trop attrayante de l'original. Malgré l'élaboration du modèle analytique de performance visuelle, le travail actuel du CRB vise toujours à examiner ce que nous pensons être les hypothèses implicites qui sous-tendent la structure du modèle.

CURRENT STUDIES

Is there an optimum contrast?

The work carried out by Yonemura and co-workers(1) has raised a serious doubt about the overall validity of the CIE 19/2 model which we believe is as yet unanswered. Although the results have been the subject of discussion and debate, much of that debate has centred on the arguments about suprathreshold and threshold visibility and their relationship, if any. While this is interesting, in some senses it is a 'red herring'. If visibility level (VL), defined in terms of threshold contrast, can be shown to be a reliable parameter for the prediction of visual performance at other than threshold conditions that is enough.

What is clear, is that the original studies by Yonemura et al. are not visual performance studies in the sense implied in CIE 19/2. They may represent performance in some more general sense that could even be more important, but that is another debate. It is important to establish if the divergence between 'apparent or perceived' contrast and physical contrast, effects visual performance in the kind of performance study that forms the basis of CIE 19/2.

We have just completed one study(2) aimed at resolving this question and modifications to our apparatus are underway to complete the work. The first results, for tasks with details brighter than background, indicate that although 'optimal' contrasts - set by the subjects - are meaningful if they imply optimal performance, the effect occurs at very high visibility levels. While this may affect the use of VDUs it is unlikely to be relevant to most visual task conditions.

ÉTUDES ACTUELLES

Y a-t-il un contraste optimal?

Les travaux de Yonemura et de ses collaborateurs (1) on fait planer un doute sérieux sur la validité d'ensemble du modèle CIE 19/2, doute qui, à notre avis, n'a pas encore été levé. Il y a eu beaucoup de discussions et de débats sur les résultats, mais ces débats et discussions ont porté essentiellement sur des arguments concernant la visibilité supraliminale et liminale ainsi que leur rapport, en supposant qu'il y en ait un. Bien que tout cela soit intéressant, le débat est, dans une certaine mesure, superflu. Si l'on peut démontrer que le niveau de visibilité (VL = Visibility Level), défini en termes de contraste liminal, est un paramètre fiable pour la prévision de la performance visuelle dans des conditions autres que celles liminales, cela suffit amplement.

Il est parfaitement clair cependant que les études originales par Yonemura et ses collègues ne sont pas des études de la performance visuelle au sens qu'implique la CIE 19/2. Il se peut qu'elles représentent la performance dans un certain sens plus général, peut-être même plus important, mais cela est un toute autre question. Il importe d'établir si l'écart entre le contraste "apparent ou perçu" et le contraste physique affecte la performance visuelle, dans le genre d'étude de performance qui est à la base de CIE 19/2.

Nous venons d'achever une étude (2) visant à résoudre cette question; pour compléter le travail, nous modifions actuellement notre appareillage expérimental. D'après les premiers résultats, pour des tâches comportant des détails plus lumineux que le fond, s'il est vrai que les contrastes "optimaux" (déterminés par les sujets) sont significatifs, c'est-à-dire qu'ils impliquent une performance optimale, cet effet se produit cependant à des niveaux de visibilité très élevés. Il est peu probable que cela ait un effet sur la plupart des conditions de tâche visuelle, bien qu'il puisse affecter l'utilisation des unités d'affichage visuel.

Results for tasks with details darker than background will be obtained in the near future and will be of greater significance for most office and school applications.

Les résultats que l'on obtiendra sous peu pour des tâches ayant des détails plus sombres que le fond, seront plus significatifs pour la plupart des applications de bureau et dans les écoles.

Are contrast rendering factor (CRF), disability glare factor (DGF) etc. meaningful performance modifiers?

Le facteur de rendu du contraste (CRF), facteur d'éblouissement perturbateur (DGF), etc. sont-ils des modificateurs significatifs de la performance?

Although the critical parameter for relating visual conditions to visual performance is the visibility level of the task, for many if not most predictive purposes that visibility level will be computed from a known light distribution surrounding the task. This involves the use of contrast modifying factors, CRF, etc. It is fairly clear that while contrast may be modified 'correctly' (providing CRF say, is not over sensitive to position) it remains an assumption that the visibility level (VL) arrived at in this way, is equivalent to a numerically equal VL under reference conditions, from a performance standpoint.

Bien que le paramètre critique, lorsqu'il s'agit de faire le lien entre les conditions visuelles et la performance visuelle, soit le niveau de visibilité de la tâche, ce niveau de visibilité sera calculé, aux fins de la plupart des prévisions, à partir d'une distribution connue de la lumière autour de la tâche. Pour ce calcul, on utilise les facteurs de modification du contraste, le CRF (= Contrast Rendering Factor), etc. On voit bien que si le contraste peut être modifié "correctement" (pourvu que le CRF par exemple ne soit pas trop sensible au positionnement), le fait que le niveau de visibilité (VL) ainsi obtenu équivaut à un VL numériquement égal dans des conditions de référence, du point de vue de la performance, n'est toujours qu'une hypothèse.

Until sufficient visual performance results are obtained under realistic conditions i.e. not under conditions approximating well to reference conditions, this assumption cannot be checked, despite its importance to application of CIE 19/2. We know of only one study(3) which has been carried out in this area but unfortunately, as yet, the results have not been explicitly analyzed and published for the above purpose. We are presently setting up experimental conditions to undertake a study to explicitly test the robustness of VL to changes in CRF.

Malgré l'importance qu'elle revêt pour l'application de CIE 19/2, on ne pourra pas vérifier cette hypothèse jusqu'à ce que l'on obtienne suffisamment de résultats sur la performance visuelle dans des conditions réalistes, c'est-à-dire dans des conditions qui ne correspondent pas de près aux conditions de référence. Nous ne connaissons qu'une seule étude(3) faite dans ce domaine; malheureusement, les résultats n'ont pas encore fait l'objet d'une analyse explicite, publiée à cette fin. Nous sommes en train d'élaborer des conditions expérimentales permettant d'entreprendre une étude afin de vérifier, de façon explicite, la résistance du VL aux changements du CRF.

FUTURE WORK

Despite the misgivings outlined above we are hopeful that the analytic model of CIE 19/2 will provide a basis for future application. Even in the short term it has provided an impetus for lighting design development that cannot be overemphasized. The concepts of VL and CRF particularly, are in themselves useful and can find application even if the model is found seriously wanting.

Despite difficulties associated with sensitivity to task(4,5) the use of CRF as an indicator of quality rather like Glare Index is very likely to be adopted(6,7) and application of VL to the analysis of critical visual problems seems a possible development. However, a number of problems remain to prevent more widespread use of the model even assuming it is fundamentally sound and it is suggested that the areas indicated below should be addressed by the CIE Technical Committee on visual performance and/or the various application committees.

(i) An understanding of the range of tasks that might be susceptable to a CIE 19/2 treatment is required. The model is based on a fairly restricted set of types of task and it would be unreasonable to expect it to apply to the broad spectrum of visual work encountered in commerce and industry, education, etc.

(ii) A means of analysing tasks to enable the model to be used predictively is crucial. Although the fits to the data in Volume 1 are impressive they rely on post rationalization and it remains disturbing that although there is some uniformity in obtained parameters for similar tasks, for other sets of data with face value similarity, the fitted parameters are widely different.

TRAVAUX FUTURS

Malgré les doutes susmentionnés, nous espérons que le modèle analytique de CIE 19/2 servira de base à des applications futures. Même à court terme, il a donné de l'élan au développement de la conception de l'éclairage. En particulier, les concepts de VL et CRF sont utiles en eux-mêmes et peuvent trouver des applications même si le modèle se révélait nettement incorrect.

Malgré les difficultés concernant la sensibilité à la tâche (4,5) il est fort probable que l'on adopte le CRF en tant qu'indicateur de la qualité plutôt que l'indice d'éblouissement (6,7), et il semble possible que l'on en vienne à appliquer le VL à l'analyse des problèmes visuels critiques. Cependant, un certain nombre d'autres problèmes empêcheraient l'utilisation plus répandue du modèle, même en supposant qu'il soit essentiellement correct; nous suggérons que les domaines ci-après soient examinés par le Comité Technique de la CIE sur la performance visuelle et/ou par les divers comités d'application.

i) Il faut déterminer la gamme des tâches qui seraient susceptibles d'un traitement conforme à la CIE 19/2. Le modèle est basé sur un ensemble de types de tâches assez restreint. Il serait donc peu raisonnable de vouloir l'appliquer à la vaste gamme de travaux visuels que l'on trouve dans le commerce, l'industrie, l'enseignement, etc.

ii) Il est essentiel de trouver un moyen d'analyser les tâches qui permettrait d'utiliser le modèle de façon prévisionnelle. Bien que la concordance avec les données, dans le tome 1, soit impressionnante, elle est basée sur une post-rationalisation; de plus, c'est très gênant que, même s'il y a une certaine uniformité des paramètres obtenus pour des tâches semblables, pour d'autres ensembles de données comportant une similarité apparente des valeurs les paramètres de concordance sont très différents.

If this difficulty cannot be resolved, experimental studies will be required for each new situation and the need and usefulness of the model disappears.

(iii) For widespread adoption, application will require either a recipe type approach which enables a designer to 'look up' his requirements, or inexpensive instrumentation to be developed which enables appropriate measurements to be made, other than by the dedicated research worker. Either way many difficulties are involved. For example, for the former, agreed ranges of task, lighting layout, reflection factors, etc. must be produced and for the latter an almost inevitable trade off between meaningful accuracy and expense is required.

While the list of difficulties associated with applying CIE 19/2 is daunting the publication remains an impressive tribute to the members of the drafting committee which deserves development and use and without which, if nothing else, the vocabulary of the lighting industry would be poorer.

ACKNOWLEDGMENT

The work described has been carried out as part of the research program of the Building Research Establishment of the Department of the Environment and this paper is published by permission of the Director.

Si l'on ne parvient pas à résoudre cette difficulté, il faudra faire des études expérimentales pour chaque nouvelle situation; le besoin et l'utilité du modèle disparaissant.

iii) En vue d'une adoption généralisée, il faudra, pour les applications, soit adopter une approche du type "recettes" permettant au concepteur de trouver sur une liste ce dont il a besoin, soit de mettre au point des instruments peu onéreux permettant de faire les mesures nécessaires sans avoir recours à des chercheurs spécialisés. Dans les deux alternatives, les difficultés sont nombreuses. Par exemple, avec la première, on doit élaborer, de commun accord, des gammes de tâches, des agencements d'éclairage, des facteurs de réflexion, etc., tandis qu'avec la deuxième, il faut presqu'inévitablement composer entre la précision et les dépenses nécessaires.

Bien que la liste des difficultés concernant l'application de CIE 19/2 soit très longue, cette publication représente néanmoins une belle réussite du comité élaborateur; elle mérite d'être mise au point et utilisée; le moins qu'on puisse en dire, c'est que sans elle le vocabulaire de l'éclairage aurait été bien plus pauvre.

REMERCIEMENTS

Les travaux décrits dans cet article ont été effectués dans le cadre du programme de recherche du Centre de recherche en bâtiment, du Ministère de l'Environnement, et cet article a été publié moyennant l'autorisation du directeur.

References/Références

1 Yonemura G.T. Criteria for recommending lighting levels. Lighting Res & Tech 13 (3), 1981. (This paper reviews and draws together earlier work.)

2 Perry M and Slater A.I. Visual performance and apparent contrast. To be presented to the CIBS National Lighting Conference, Warwick, 1982.

3 Rea M.S. Visual performance with realistic methods of changing contrast. J IES 10 (2), 1978.

4 Boyce P.R. The variability of contrast rendering factor in lighting installations. Lighting Res & Tech 10 (2), 1978.

5 Slater A.I. Variation and use of contrast rendering factor and equivalent sphere illuminance. Lighting Res & Tech 11 (3), 1979.

6 Boyce P.R. and Slater A.I. The application of CRF to office lighting design. Lighting Res & Tech 13 (2), 1981.

7 Fischer D. A pracicable concept for the evaluation of veiling reflections. Proc 4th Lux Europa, Granada, 1981.

Dr. Gary T. Yonemura
Centre for Building Technology
Institute for Applied Technology
National Bureau of Standards
Washington, D.C. 20234

Dr Gary T. Yonemura
Centre for Building Technology
Institute for Applied Technology
National Bureau of Standards
Washington, D.C. 20234

ABOUT THE AUTHOR

Dr. Yonemura received his B.S., M.A., and Ph.D. Psychology at Columbia University. He is the Project Leader of the Visual Environment Project for the Sensory Environment Program.

He is currently developing the instrumentation, methodology, and standards necessary to assess the effectiveness of lighting systems for visual task performance and is developing prediction methods for design purposes, and evaluating field conditions and tasks in order to develop visual standards for testing inspectors working in visual nondestructive evaluation techniques.

Dr. Yonemura is active at the national and international levels with technical committees concerned with visual performance criteria for lighting and energy conservation. He provides consulting support for other governmental agencies, industry, and consumers.

Dr. Yonemura's past experience includes teaching Psychology at Indiana University; a Fulbright Fellowship (Japan) from the Department of State; and lecturing in Psychology at Columbia University.

L'AUTEUR

Dr Yonemura a été reçu docteur en psychologie à la Columbia University où il a fait toutes ses études. Il est chef de projet du Visual Environment Project for the Sensory Environment Program.

Il est actuellement chargé de la mise au point de l'instrumentation, de l'élaboration de la méthodologie et de la mise au point des normes nécessaires à l'évaluation de l'efficacité des systèmes d'éclairage destinés à améliorer la performance des tâches visuelles. Il met également au point des méthodes de prévision destinées à la conception et il s'occupe de l'évaluation des conditions sur le terrain et des tâches pour élaborer des tests visuels à l'intention des inspecteurs travaillant dans le domaine des techniques de contrôle visuel non destructives.

M. Yonemura est membre actif de comités techniques nationaux et internationaux s'occupant de critères de performance visuelle relatifs à l'éclairage et à l'économie d'énergie. Il agit à titre d'expert-conseil auprès d'organismes gouvernementaux, de l'industrie et de groupes de consommateurs.

L'auteur a enseigné la psychologie à la Indiana University, a reçu une bourse d'étude Fulbright (Japon) du Department of State et a été chargé de cours en psychologie à la Columbia University.

ABSTRACT

The effect of lighting on behavior ranges from allowing simple detection of objects to creating moods and impressions. Lighting standards and recommendations for general applications should be based on the visibility (seeing) requirements where differences between individuals are minimal. Furthermore, lighting criteria or standards must evaluate the seeing process under stimulus conditions approximating those encountered in the real space. It is recommended that conspicuity, defined as: "how well the detail stands out from the background", or ease of seeing be the metric for visibility. Subjective visual response criteria cannot be universally applied where significant differences in interpretations and evaluations between individuals and/or groups of indivuduals occur. Instead they should be treated as design options to be applied when they are important aspects of the intended function of the space. In discussing the above issues, the paper identifies the major categories of variables included in the perception of the visual environment and organizes them logically with respect to their relationship in developing lighting criteria and standards. This analysis includes a breakdown of the visual processes into sensory and perceptual components.

Key words: Conspicuity; contrast, illumination; lighting; lighting levels; suprathreshold visibility; vision.

RÉSUMÉ

Leffets de l'éclairage sur le comportement vont de la simple perception des objets à la création d'une ambiance et la stimulation de sensations. Les normes et les recommandations concernant les applications générales dans ce domaine doivent reposer sur des critères de visibilité (vision) selon lesquels les différences entre individus sont minimales. En outre, les critères ou les normes d'éclairage doivent évaluer la vision soumise à des stimuli semblables à ceux présents dans la réalité. On recommande que la netteté, définie comme "le degré de perception des détails" ou "la facilité de voir un objet", serve à mesurer la visibilité. Des critères subjectifs de performances visuelles ne peuvent avoir une portée universelle si l'on note des écarts importants entre individus et/ou groupes d'individus dans les interprétations et les évaluations apportées. On doit plutôt considérer ces critères comme des options du concepteur ne devant s'appliquer que si elles constituent d'importants aspects de la fonction prévue pour l'espace à aménager. En traitant des questions susmentionnées, le présent document identifie les principales catégories de variables relatives à la perception visuelle de l'environnement et les relie logiquement en fonction de l'élaboration des critères et des normes d'éclairage. Cette analyse porte sur le mécanisme de la vue qu'elle divise en éléments sensoriels et perceptifs.

Mots clés: netteté; contraste; éclairement; éclairage; niveaux d'éclairage; visibilité supraliminale; vision.

1.0 INTRODUCTION

Serious disagreements exist among researchers and lighting practitioners concerning the amount of illumination required to perform specific visual tasks. But, a general consensus exists among these groups that the determination of required illuminance levels is a necessary criterion for any lighting design, where visual task performance is an integral part of the activities to be performed in a given space.

Standards and guidelines are often said to be an unnecessary constraint to design freedom, in that they restrict the options available to the designer. This potential conflict between standards and design freedom is more apparent that real--since they have very different objectives. Standards are meant to be universally applicable, while design decisions are typically supposed to be responsive to special classes of activities and/or users. Design decisions can, therefore, lead to different lighting recommendations, even when visual tasks are similar. For example, in fast food outlets where the desire from the customers' point of view is to have fast service and the owners' desire is for the customer to eat fast and leave, high illumination levels are more conducive to obtaining this desired end. But, in restaurants where an intimate atmosphere is a desirable goal, light levels are kept low to be more conducive to a leisurely dining environment. The light levels may not be the optimum for reading the menu, but most of us will not be bothered or even be aware of this low light level for reading purposes. This same light level in an office would be intolerable.

In this paper, the "standard" and "design" approaches will deal with considerations of the following questions:

1.0 INTRODUCTION

Les chercheurs et les éclairagistes sont en net désaccord sur la quantité d'éclairement nécessaire pour réaliser certaines tâches visuelles. Il existe cependant un consensus parmi ces groupes concernant la nécessité de déterminer des valeurs ou niveaux d'éclairement pour tout système d'éclairage, lorsque des tâches visuelles font partie intégrante des activités à réaliser dans un espace donné.

On dit souvent que les normes et les critères freinent inutilement la liberté du concepteur en limitant les options s'offrant à lui. Le conflit potentiel entre normes et liberté est plus apparent que réel, car ces deux éléments ont des objectifs très différents. Les normes doivent avoir une portée universelle, alors que les décisions du concepteur ne visent que les cas particuliers (activités et/ou utilisateurs). Ces décisions peuvent donc aboutir à des recommandations différentes même lorsque les tâches visuelles sont identiques. Par exemple, dans les établissements de restauration rapide où le client désire être servi rapidement et où le propriétaire veut que celui-ci ne s'attarde pas trop dans son restaurant, on aurait plutôt tendance à choisir des valeurs élevées d'éclairement. Par contre, dans des restaurants où l'on veut créer une atmosphère intime, on réduit généralement le niveau d'éclairage. La lumière tamisée ne facilite pas particulièrement la lecture du menu, mais peu de gens en seront gênés ou le remarqueront. La même valeur d'éclairement serait jugée inacceptable pour un bureau.

Dans ce document, on traitera des questions de "normes" et de "conception" sous les aspects suivants:

(1) **Standards and Criteria** -- How much light is needed to see? This question deals with physiological mechanisms directly involved in visual sensations, generally evaluated psychophysically, with the performance criterion being: how well we can see. This information would have universal application -- i.e., it is similar for most users within a class. The Snellen Eye Chart Test used to assess the capacity of the eye to see details is an example of a procedure developed for this purpose. In this test, you are said to have 20/20 vision, when your ability to recognize letters at 20 feet is the same as that for the average population. If not you are presumed to have some weakness in your visual sensory mechanism.

(2) **Design** -- How much light is needed to obtain a productive, comfortable and pleasant environment? This question deals with moods, feelings, impressions and other subjective factors that influence job performance as well as how much light we need to see. Consequently, considerable differences in responses can be expected among individuals.

The basic differences between these two formulations of lighting requirements will be discussed in detail, after the introduction of some necessary background material.

Several approaches have been advocated to determine the amount of light needed to perform visual tasks. They differ from one another primarily with respect to the type of behavior (response) being measured.

1. One research method is based on judgments of acceptability and/or comfort. That is -- the lighting level which results in maximum satisfaction and/or comfort (e.g., in response to questionnaires or verbal scales) is thought to be the proper basis for lighting standards and guidelines.

(1) **Normes et critères** -- De quelle quantité de lumière a-t-on besoin pour voir? Cette question se rapporte aux mécanisme physiologiques directement liés aux sensations visuelles, généralement évaluées phycho-physiquement à partir du critère suivant: notre degré de perception visuelle. Ces données ont une portée universelle, à savoir qu'elles sont valables pour la plupart des utilisateurs d'une même catégorie. L'examen de la vue de Snellen dont on se sert pour évaluer l'acuité visuelle est un exemple d'une méthode mise au point à cette fin. On attribue une note de 20/20 aux sujets dont le degré de perception de lettres placées à une distance de vingt pieds correspond à celui de la moyenne de la population. Sinon, on considère que le sujet souffre de troubles du mécanisme sensoriel de la vue.

(2) **Conception** -- De quelle quantité de lumière a-t-on besoin pour obtenir un environnement confortable, agréable et propice au travail? Cette question se rapporte dispositions, sentiments, sensations et autres facteurs subjectifs qui influencent le rendement du travail et la luminosité nécessaire pour bien voir. On peut donc s'attendre à des réactions différentes selon les gens.

On traitera en détail des différences fondamentales entre ces deux formulations des exigences d'éclairage après la présentation de certaines données de référence essentielles.

Plusieurs méthodes ont été préconisées pour déterminer la quantité de lumière nécessaire pour accomplir des tâches visuelles. Elles varient surtout en fonction du type de comportement (réaction) évalué.

1. Une des méthodes de recherche se fonde sur des jugements d'acceptabilité et/ou de confort. Le niveau d'éclairage fournissant le maximum de satisfaction et/ou de confort (exemple: d'après les résultats obtenus par questionnaire ou verbalement) constitue la donnée de base pour l'élaboration des normes et critères d'éclairage.

2. An alternative rationale is one which starts with the premise that since the purpose of lighting (e.g., in commercial buildings) is to achieve productivity of some kind, i.e., work performance, productivity measurements under actual or simulated working conditions provide the only valid basis for lighting standards.

3. Finally, there are researchers who argue that the only way of achieving an objective basis for recommending lighting standards is by conducting controlled laboratory studies designed to assess the functional capacity of the visual sensory system.

In the following pages, we will discuss these different viewpoints and recommend, that for consistency and general applicability, physiological and psychophysical laboratory studies designed to investigate how well the eye "sees" are the most appropriate and defensible basis for determining lighting levels standards and guidelines.

Lighting level is only one of many variables which influence people's response to the visual environment. Upon reflection, this point seems to be an obvious one. Yet many members of the lighting community seem to equate two very different views of lighting: **The quality of the visual environment and the amount of light needed to perform visual tasks.** For example, let us say lighting levels were changed in an office and that these changes were accompanied by significant differences in the amount of production errors. Several explanations of this result may be postulated: Among those confined to lighting are (1) changes in task visibility and/or (2) a preference for the new lighting levels over the levels used earlier. The first explanation assumes the criterion to be the amount of light needed to perform visual tasks, while the second one is based upon qualitative factors as well. The blurring of the distinction between these two basically different approaches to determining lighting requirements has significantly contributed to the problems that exist today with respect to recommended lighting standards and guidelines.

2. Une autre méthode part du principe selon lequel l'objectif de l'éclairage (ex. immeubles commerciaux) étant de servir la productivité, le rendement au travail, il faut absolument procéder à des mesures dans des conditions de travail réelles ou simulées avant d'établir des normes.

3. Enfin, certains chercheurs croient que la seule façon d'obtenir des données objectives pour la recommandation de normes consiste à mener des études expérimentales visant à évaluer la capacité fonctionnelle du système sensoriel de l'oeil.

Dans les pages suivantes, nous analyserons ces différentes opinions et conclurons que, pour des fins de cohérence et d'application générale, les études expérimentales physiologiques et psychophysiques visant à évaluer l'acuité de l'oeil sont le moyen le plus acceptable et le plus sûr pour l'élaboration de normes et de critères d'éclairage.

Le niveau d'éclairage n'est qu'une des nombreuses variables influençant la réaction des gens face à l'environnement visuel. En y réfléchissant, cet énoncé semble évident. Malgré tout, de nombreux spécialistes de l'éclairage confondent deux notions très différentes: **la qualité de l'environnement visuel et la quantité de lumière nécessaire pour réaliser des tâches visuelles.** Par exemple, supposons que l'on a modifié les niveaux d'éclairage d'un bureau et que l'on a noté par la suite des différences importantes au niveau du nombre d'erreurs de production. On peut avancer plusieurs explications; parmi les solutions relatives à l'éclairage citons les deux suivantes: (1) changements dans la visibilité au travail et/ou (2) nouveaux niveaux d'éclairage plus appréciés que les précédents. La première explication ne tient compte que de la quantité de lumière, alors que la seconde incorpore le facteur qualitatif. La confusion entourant ces deux optiques fondamentalement différentes a grandement contribué aux problèmes actuels relatifs à la recommandation de normes et de critères d'éclairage.

One goal of this paper is to identify the major categories of variables included in the perception of the visual environment, and to organize them logically to facilitate the development of lighting criteria and standards. We will do this by exploring the relationship between visual quality, "How good is the visual environment?", and the lighting levels needed for visual task performance, "How much light do we need to perform visual tasks?"

There are many ways to present a paradigm to outline the components needed to assess the visual environment. Diagram 1 elucidates the points to be emphasized in this paper. In the interior lighting design of office spaces, user acceptability and work performance are key considerations. Lighting plays a dominant role in enabling us to see in order to perform visual tasks, of course, but also significantly influences our perception of the visual environment. This perceived environment, i.e., the worker's reaction to, or evaluation of, the visual environment, also affects work performance and user satisfaction. But these are not the only factors to be considered when examining the visual environment. When evaluating lighting variables by testing user satisfaction or work productivity, non-visual contributions (in some cases unidentified) importantly influence the outcome attributed to the lighting variable being investigated. The role of these factors in user acceptance and work performance will be discussed next.

L'un des objectifs du présent document est d'identifier les principales catégories de variables relatives à la perception visuelle de l'environnement, et de les relier logiquement pour faciliter l'élaboration de normes et de critères d'éclairage. Cet objectif sera réalisé en examinant les rapports entre la qualité visuelle, "L'environnement visuel est-il favorable?", et les niveaux d'éclairage nécessaires pour réaliser des tâches visuelles, "De quelle quantité de lumière a-t-on besoin pour réaliser des tâches visuelles?".

Il existe de nombreuses façons de présenter un paradigme comprenant les éléments nécessaires à l'évaluation de l'environnement visuel. Le schéma 1 illustre les points à souligner dans ce document. Pour ce qui est de l'éclairage intérieur des bureaux, l'acceptation par l'utilisateur et le rendement au travail sont deux éléments clés. L'éclairage joue bien entendu un rôle important dans la réalisation des tâches visuelles, mais il influence également beaucoup notre perception de l'environnement visuel. Cet environnement (c'est-à-dire la réaction ou l'évaluation de l'utilisateur face à l'environnement visuel) influe également sur le rendement au travail et la satisfaction de l'utilisateur. Ces facteurs ne sont cependant pas les seuls à considérer dans l'évaluation de l'environnement visuel. Au cours de l'examen des variables d'éclairage effectué en évaluant l'acceptation par les utilisateurs ou la productivité, des éléments non visuels (dans certains cas non identifiés) influencent grandement la valeur attribuée à ces variables. Le rôle joué par ces facteurs dans l'acceptation par l'utilisateur et le rendement au travail sera étudié dans les prochaines pages.

2.0 USER ACCEPTANCE

A good environment is one which is acceptable to the user. By acceptable we do **not** mean preferred, rather the basis for acceptance is that the design is not rejected by the user. The visual environment may be satisfactory or acceptable, but not necessarily the preferred or ideal condition. The design of an environment which is ideal for all users of a space is difficult, if not impossible, to achieve. For example, a user may prefer a blue room but may find an existing cream colored room acceptable, or may prefer X lux of illumination, but find 0.5 X lux or 2.0 X lux acceptable.

A common method for assessing acceptability is a questionnaire using a 5 or 7 point scale, directly asking the occupant: "About how satisfied are you with the lighting aspects of your office?", the choices being; "very satisfied", "somewhat satisfied", "indifferent", "somewhat", or "very dissatisfied". Assessments of this type are very broad and can be influenced by any one (or a combination) of many variables. **A specific question may follow the general one, for example; "About how satisfied are you with the light levels in this room?" Again, we are only interested in testing the acceptability of the space.** We are still faced with the problem of what criterion the observer was using in his evaluation of light level. Studies of this type indicate large differences in preferred light levels among observers. We can make the questionnaire highly specific, and hope that we are assessing a basic quality, that will be similar for different observers.

2.0 ACCEPTATION PAR L'UTILISATEUR

Un bon environnement est un environnement acceptable pour l'utilisateur. Par acceptable, nous n'entendons **pas** préféré, mais simplement que la conception visuelle ne soit pas rejetée par l'utilisateur. L'environnement visuel peut être satisfaisant ou acceptable, sans être nécessairement le milieu préféré ou diéal. La conception d'un environnement idéal pour tous les utilisateurs est difficile, sinon impossible, à réaliser. Par exemple, un utilisateur peut préférer le bleu comme couleur pour le bureau mais peut trouver la couleur crème acceptable, ou bien peut préférer un éclairement de X lux et trouver un éclairement de 0,5 X ou 2,0 X lux acceptable.

Une méthode courante pour évaluer l'acceptabilité consiste à employer un questionnaire avec une échelle de 5 ou 7 points renfermant la question suivante à l'intention de l'utilisateur: "Êtes-vous satisfait du système d'éclairage de votre bureau?", avec un choix de réponses comme suit: "très satisfait", "plutôt satisfait", "indifférent", "plutôt mécontent" et "mécontent". Les évaluations de ce genre sont très vagues et peuvent être influencées par n'importe laquelle des nombreuses variables ou une combinaison de celles-ci. **Une question plus précise peut suivre la question générale, par exemple: "Êtes-vous satisfait des niveaux d'éclairement dans votre bureau?" Répétons encore une fois que nous ne nous intéressons qu'à mesurer l'acceptabilité de l'espace.** Nous ne savons pas, ici non plus, quel critère a été choisi par l'utilisateur dans son évaluation des niveaux d'éclairement. Les études de ce genre montrent de grands écarts dans les préférences des participants. Nous pouvons formuler des questions plus précises dans l'espoir de faire appel à un critère essentiel, qui serait partagé par différents utilisateurs.

NBS conducted a study that attempted to identify preferred light levels, using a questionnaire in conjunction with a visual task. Subjects were asked to choose a level of task visibility, in this case based on perceived contrast, that they felt would be good enough to work under for a sustained period of time, two hours. The stimuli were five-bar grating patterns. (See figure 15). More specifically, NBS wanted to determine what visibility level will be acceptable to most workers, e.g., 90 per cent of the workers. Keeping the background luminance constant, observers were asked to choose that contrast level which they felt would be "just acceptable" for sustained work (reading for two hours) and also the "definitely acceptable" level for the same task. The contrast range between these two levels were defined as acceptable levels. In figure 1 the bars represent the arithmetic mean plus 1.28 standard deviations. The bars represent 90 per cent of the population, that is, a one-tailed test that includes 1.28 standard deviation. We are only interested in one direction of the distribution, that portion of the just and definitely acceptable distribution contributing to the overlap between the two. Therefore, 10 per cent of the values for the high end of the "just acceptable" category, and 10 per cent of the low end for the "definitely acceptable" category, have been dropped. A region where the just and definitely acceptable bars did not overlap would represent contrast values that are acceptable for all observers, neither too good (over-design) nor too poor (low visibility) task for 90 per cent of the sampled population. None of the pairs of bars show such a non-overlap region.

Le NBS a mené une étude visant à identifier les préférences relatives aux niveaux d'éclairage, en se servant d'un questionnaire portant sur une tâche visuelle. On a demandé aux sujets de choisir un niveau de visibilité pour la tâche (perception du constraste) qui permettrait de travailler de façon soutenue pendant une certaine période, soit deux heures. Les stimuli étaient des modèles de grille de cinq lignes (voir figure 15). Plus précisément, le NBS voulait établir quel niveau de visibilité serait acceptable pour la plupart des travailleurs, par exemple 90 pour cent d'entre eux. Avec une luminance de fond constante, on a demandé aux sujets de choisir un niveau de contraste "suffisamment acceptable" et "véritablement acceptable" pour un travail soutenu (lire pendant deux heures). Le champ couvert par ces deux niveaux a été défini comme le niveau d'acceptabilité. À la figure 1, les lignes représentent la moyenne arithmétique plus 1,28 d'écart type. Ces lignes englobent donc 90 pour cent de la population, résultat d'un test à orientation unique comprenant un écart type de 1,28. Nous ne nous intéressons qu'à une partie de cette distribution, soit celle comprenant les niveaux suffisamment et véritablement acceptables qui se recoupent. Nous abandonnons donc 10 pour cent des valeurs composant la partie supérieure de la catégorie "suffisamment acceptable" et 10 pour cent des valeurs de la partie inférieure de la catégorie "véritablement acceptable". Une zone où les lignes de ces deux catégories ne se chevaucheraient pas représenterait des valeurs de contraste acceptables pour tous les sujets, ni trop bonnes ni trop mauvaises (faible visibilité) pour 90 pour cent de l'échantillon de la population. Aucune paire de lignes n'offre un telle zone de recoupement.

These results indicate that there are large differences among observers' estimates of "goodness of task visibility" required for sustained visual work. What is considered "definitely acceptable" by some observers is said to be less than "just acceptable" by others. Furthermore, subjective estimates of acceptability are affected by other variables in addition to the variable being expressly evaluated. For example, expressions of satisfaction may be to room decor, wall color, etc.

Ces résultats indiquent qu'il existe de grands écarts dans les évaluations par les sujets de la "visibilité" nécessaire pour accomplir une tâche visuelle soutenue. Ce que certains considèrent comme "véritablement acceptable" peut être jugé par d'autres inférieur à la norme "suffisamment acceptable". En outre, l'évaluation du degré d'acceptabilité peut être influencée par d'autres facteurs étrangers à la variable déjà mesurée. Par exemple, on peut être satisfait de la décoration de la pièce, de la couleur des murs, etc.

3.0 WORK PERFORMANCE

When we consider why lighting criteria and standards are needed for buildings, the most obvious reason is "to enable visual tasks (activities) to be performed". A logical follow-up question is: "How can lighting be used to improve productivity (task performance)?" Finally, in seeking answers to these questions, why not take the most straightforward approach available--conduct systematic research under actual work conditions? For tasks of a routine nature the index of merit for work performance is **productivity**, which is generally measured by number of errors, accuracy, speed, latency or quantity and quality of output.

A direct attack on this problem, one under "realistic" conditions, was undertaken at the Hawthorne Works of the Western Electric Company in 1929. A series of studies, extending several years, was conducted to clarify the relationship between lighting levels and the performance of a variety of jobs[2]. The Hawthorne studies were the earliest and perhaps the most comprehensive studies in the discipline of "industrial psychology". The findings and insights which resulted from the Hawthorne studies[3] point to many difficulties encountered in field research activities.

The first study at the Hawthorne Plant was conducted in three selected departments. The work consisted of (1) inspection of small parts, (2) assembling relays, and (3) winding coils, respectively. Four lighting conditions were used, ranging from 10 to 150 lux. For control purposes, the same tasks were performed under uniform existing lighting conditions. The findings of the study were very ambiguous. In the first department, production varied without any relationship to lighting level. In the second and third departments, production increased but the increase could not be attributed to increased lighting levels. Follow-up studies were conducted, but they further confused the issue. Constant lighting levels in one department resulted in as much increased

3.0 RENDEMENT AU TRAVAIL

Lorsque nous nous demandons pourquoi il est nécessaire d'établir des normes et des critères d'éclairage pour les immeubles, la première réponse qui nous vient à l'esprit est la suivante: "Permettre l'exécution des tâches (activités) visuelles". Une deuxième question s'impose à nous immédiatement: "Comment se servir de l'éclairage pour améliorer la productivité (rendement au travail)?" En tentant de répondre à toutes ces questions, on en vient à penser à la méthode la plus directe, à savoir réaliser une recherche systématique dans des conditions réelles de travail. Pour les tâches routinières, on mesure le rendement au travail par la **productivité**, facteur généralement évalué selon le nombre d'erreurs, la précision, la vitesse d'exécution, la production ou la latence et la qualité du travail.

Une analyse directe de ce problème dans des conditions "réalistes" a été menée à l'usine Hawthorne de la Western Electric Company en 1929. Pendant plusieurs années, on a réalisé une série d'études visant à établir clairement le rapport entre les niveaux d'éclairage et le rendement dans la réalisation de différentes activités.[2] Les études de Hawthorne ont été les premières et peut-être les plus compréhensives de l'histoire de la "psychologie industrielle". Les résultats et les découvertes de ces études ont permis d'identifier de nombreux problèmes propres aux recherches sur le terrain.

La première étude menée dans trois services de l'usine Hawthorne portait sur ces aspects du travail: (1) inspection des petites pièces, (2) assemblage des relais et (3) enroulement des bobines. On a utilisé quatre niveaux d'éclairage différents, allant de 10 à 150 lux. Pour faciliter l'évaluation du travail, on a exécuté les mêmes tâches dans des conditions réelles et uniformes d'éclairage. Les résultats de l'étude ont cependant été très ambigus. Pour ce qui est de la première section, la production a varié sans aucune relation avec les niveaux d'éclairage. En ce qui concerne les deuxième et troisième sections, les augmentations de production mesurées n'ont pu être attribuées aux augmentations d'éclairage. On a par la suite réalisé les

productivity as an increase in lighting levels did. Finally, under severely reduced lighting levels (10 lux) workers maintained their usual productivity. It became evident to the researchers at this point that they were unable to find a simple casual relationship between lighting levels and productivity in their field studies. (A second study, to be discussed later, performed at Hawthorne provided insights as to what had happened in the first study).

autres études, mais elles n'ont fait qu'accroître la confusion. Même en conservant la même valeur d'éclairage dans une des sections, on a enregistré autant de hausses de productivité que si l'on avait augmenté les niveaux d'éclairage. Enfin, avec des niveaux d'éclairage très réduits (10 lux), les sujets ont maintenu leur rendement habituel. Il est alors apparu clairement aux chercheurs qu'il leur était impossible d'établir un lien simple de cause à effet entre l'éclairage et la productivité dans leurs études sur le terrain. (Une deuxième étude menée à Hawthorne, dont il sera question plus tard, a fait la lumière sur ce qui s'est passé lors de la première recherche).

Productivity studies conducted in laboratories are more sophisticated in the use of control groups or using the individual worker as his own control. For example, laboratory simulations of real-world productivity, using pay-off matrices can minimize the influence of psychological variables[4]. But in spite of these attempts to control extraneous variables, the nature of the methodology utilized in productivity studies cannot test the independent variable with a specificity that limits the outcome as being the direct function of the single manipulated variable. Productivity studies intended to study lighting variables may be confounded by contributions from the non-visual as well as the visual sensory process (see diagram 1). These non-visual contributions to user acceptance and work performance will now be discussed.

Les études de productivité effectuées en laboratoire permettent de mieux utiliser les groupes de contrôle ou les sujets individuels chargés de se contrôler eux-mêmes. Par exemple, des simulations en laboratoire de la productivité réelle avec des matrices de paiement peuvent réduire l'influence des variables psychologiques.[4] Cependant, malgré ces tentatives de contrôle des variables étrangères, la nature même de la méthodologie utilisée dans les études de productivité ne permet pas de mesurer une variable indépendante de façon à assurer que les résultats obtenus soient fonction directe de la variable manipulée. Les études de productivité portant sur les variables d'éclairage peuvent être rendues encore plus difficiles par l'influence des éléments non visuels et du mécanisme sensoriel de l'oeil (voir schéma 1). Il sera maintenant question de l'influence des variables non visuelles sur l'acceptation de l'utilisateur et le rendement au travail.

For purposes of this paper, which is concerned with the methodology and data base on how levels of illumination affect seeing, a visual and non-visual dichotomy will be a useful categorization. As in most efforts to describe human behavior, there will be grey areas, that is, phenomena that do not fall neatly into either category or may fall into both categories. We shall see that even the visual processes must be separated into contributions from the sensory and perceptual levels, when the objective is to develop criteria for levels of illumination and visibility.

Pour le présent document, qui porte sur la méthodologie et les données concernant l'influence des niveaux d'éclairement sur la vision, la dichotomie éléments visuels-éléments non visuels est très importante. Comme dans la plupart des analyses du comportement humain, cette étude renfermera des zones grises, c'est-à-dire qu'elle traitera de phénomène qu'on ne peut attribuer clairement à une catégorie ou qui appartiennent à deux groupes. Nos verrons que même la vue doit être divisée en éléments sensoriels et perceptifs lorsque l'on veut élaborer des critères relatifs aux niveaux d'éclairement et de visibilité.

4.0 NON-VISUAL

Other Sense Modalities. The acceptability of an architectural space from the standpoints of aesthetics and visual task performance can be affected by non-visual environmental conditions. For example, the auditory and thermal attributes of a space can have a beneficial or detrimental effect on visual responses of the occupants.

Interaction--Visual and Other Sensory Areas -- Most sensory research has been designed to examine one parameter at a time. This is true for all sense modalities -- visual, auditory, thermal, etc. However, with the advent of increased interest in man-machine interactions, where realistic problems in complex environments were being studied (e.g., aircraft cockpit design), it became evident that the interactions of many factors must be studied, if researchers were to achieve viable solutions to practical problems. Consequently, a research literature does exist which focuses on interactive effects of characteristics of one environmental feature directly affecting one sense (e.g., noise) on the sensory response or task performance where another sensory modality is of primary importance (e.g., visual perception). A limited number of such studies will now be described.

Lofberg et al.[5] studied the combined effects of temperature and lighting level on the performance of school children working on two tasks -- addition and the detection of Landolt ring gaps. Three different lighting levels (60, 250, 1000 lux) and two temperatures (22°C, 26°C) were used in the study. The authors report, that under a neutral temperature, visual performance was better at high illuminances, but under higher temperatures a decrement in visual task performance was observed for the higher illuminances, i.e., they found a significant interaction between the thermal and visual sense modalities.

4.0 ÉLÉMENTS NON VISUELS

Autres domaines sensoriels. L'acceptabilité d'un espace architectural du point de vue de l'esthétique et du rendement lors d'une tâche visuelle peut être influencée par des conditions non visuelles. Par exemple, le niveau de bruit et la température d'une pièce peuvent influer positivement ou négativement sur les performances visuelles d'un occupant.

Interaction - vision et autres domaines sensoriels -- La plupart des recherches dans le domaine des sens ont porté sur un paramètre à la fois, par exemple la vision, le niveau de bruit, la température, etc. Cependant, depuis que l'on s'intéresse davantage aux interactions homme-machine et que l'on étudie des problèmes réalistes survenant dans des environnements complexes (ex.: conception d'un cockpit d'aéronef), il est devenu évident qu'il faut analyser les interactions de nombreux facteurs pour trouver des solutions valables à des problèmes pratiques. Il existe donc des études qui ont porté sur l'influence directe des caractéristiques d'un élément environnemental sur un sens (ex.: le bruit) au niveau des réactions sensorielles ou du rendement au travail, dans le cadre d'une recherche sur un autre domaine sensoriel (ex.: perception visuelle). Nous allons maintenant traiter d'un certain nombre de ces études.

Lofberg et ses collègues[5] ont étudié les effets combinés de la température et des niveaux d'éclairage sur le rendement de jeunes élèves exécutant deux tâches: addition et détection de l'écartement des anneaux de Landolt. On a employé deux températures (22° C, 26° C) et trois niveaux d'éclairement (60, 250 et 1 000 lux) différents dans cette étude. Les auteurs ont indiqué qu'à une température normale, les performances visuelles s'amélioraient avec l'augmentation de la valeur d'éclairement; à une température élevée, les chercheurs ont constaté une baisse des performances visuelles à mesure que la lumière s'intensifiait. Ils ont donc découvert une interraction importante entre la température et la vision.

Shigehisa and Gunn[6] investigated the interaction of lighting level and noise levels while adult subjects were watching television in a simulated living room. Noise levels were varied between 84 and 92 dBA, and three light levels were used (3, 22, and 129 lux). They found that significant interactions occurred between light and noise levels. Annoyance was lowest under low level (3 lux), highest for medium (22 lux) and in-between for the highest level (129 lux).

Shigehisa et Gunn[6] ont fait des recherches sur l'interaction entre l'éclairage et le bruit, dans le cadre desquelles des adultes regardaient la télévision dans une fausse salle de séjour. On a fait varier le niveau de bruit de 84 à 92 dB et le niveau d'éclairement entre 3, 22 et 129 lux. Les auteurs ont démontré une interrelation significative entre les deux domaines sensoriels. Le bruit avait moins d'effet sous une faible lumière (3 lux), était particulièrement "ressenti" sous un éclairage moyen (22 lux) et exerçait une influence moyenne à une valeur d'éclairement élevée (129 lux).

Fanger et al.[7] conducted a study which included the visual, auditory and thermal sense modalities. They investigated the effects of **both** color and noise on thermal comfort sensations. Each of 18 subjects was exposed to two types of colored light ("extreme red" and "extreme blue") and two levels of white noise (40 dBA and 85 dBA) in all four possible combinations. Subjects were permitted to adjust ambient temperature to their satisfaction. The authors summarize their findings as follows: "The subjects preferred a slightly lower (0.4°C lower) ambient temperature under blue light than under red light". (Noise had no effect on thermal comfort.)

Fanger et al.[7] ont effectué une étude portant sur les aspects visuels et auditifs, et la température. Ils ont analysé les effets des couleurs et du bruit sur les sensations de confort thermique. Chacun des 18 sujets a été exposé à deux types de lumière colorée ("rouges très foncé" et "bleu très foncé") et deux niveaux de bruit blanc (40 dB et 85 dB) dans toutes les combinaisons possibles. Les sujets pouvaient régler la température ambiante à leur goût. Les auteurs ont conclu de la façon suivante: "Les sujets ont préféré une température ambiante légèrement inférieure (0,4° C) sous une lumière bleue que sous une lumière rouge". (Le bruit n'a eu aucune influence sur le confort thermique).

The studies discussed above have well defined physical correlates that can be investigated and/or controlled in studies of visual performance, space usefulness and acceptability, **provided the investigator is aware of these effects.** The studies described above constitute a small sample of many investigations, which explored the effects of systematic changes in one sensory area, on responses which were predominantly based on another sensory response. However, we must also consider other non-visual contributions to visual performance which are difficult to control or in some cases not considered because their importance was unknown. These are the psychological factors -- attitudes, motivations, emotions, etc., present in any real world context or simulated real world environments (see diagram 1).

Les études susmentionnées ont bien défini les interrelations physiques pouvant être analysées et/ou contrôlées dans le cadre de recherches sur les performances visuelles et sur l'utilité et l'acceptabilité des espaces, **pourvu que les chercheurs soient conscients de ces effets.** Elles ne constituent qu'un faible échantillon des nombreuses recherches concernant les effets de changements systématiques, dans un domaine sensoriel, sur des réactions principalement influencées par un autre domaine sensoriel. Il nous faut cependant considérer également d'autres éléments non visuels qui interviennent dans les performances visuelles, éléments difficiles à contrôler ou dans certains cas ignorés puisque mal connus. Il s'agit des facteurs psychologiques: états d'esprit, motivations, émotions, etc. qui sont présents dans toute situation réelle ou simulée (voir schéma 1).

Psychological factors which may influence work performance include variables associated with differences among individuals such as learning experiences and motivation. In general, these variables influence the attitudes that the worker brings to the job. The Hawthorne studies conducted as a follow-up to the experiment described earlier, provide what is now considered to be a "classical" example of the importance of attitudinal variables in a study intended to deal with the effects of lighting conditions on productivity.

Les facteurs psychologiques pouvant modifier le rendement au travail comprennent des variables associées à des particularités individuelles, par exemple au niveau des expériences d'apprentissage et de la motivation chez les travailleurs. En général, ces variables influencent l'attitude des employés au travail. Les études de Hawthorne qui ont suivi l'expérience décrite précédemment offrent ce qu'il est maintenant convenu d'appeler un exemple classique de l'importance de ce type de variables dans le cadre d'une étude analysant les effets de l'éclairage sur la productivité.

The main purpose of the second Hawthorne study, which took five years to complete, was to exercise greater control over the many variables that could have influences performance in the first study. One means of achieving the desired control was to separate the group being studied from the normal work environment. The selection of the work task to be examined was also governed by the desire for experimental control. The task chosen was a simple and repetitive one -- the assembly of small relays, which requires no machinery and which permits an accurate measure of productivity. The researchers examined environmental conditions (e.g., light level), work schedule, changes in supervision and the use of incentive plans as methods to increase production.

La deuxième étude de Hawthorne, qui a duré cinq ans, avait principalement pour but de mieux contrôler les nombreuses variables ayant pu avoir un effet sur le rendement lors de la première étude. L'un des moyens consistait à couper le groupe analysé du milieu normal de travail. On a également choisi la tâche à accomplir en fonction de ce critère. Elle était simple, répétitive, ne nécessitait pas l'utilisation de machine et permettait une mesure précise de la productivité; il s'agissait de l'assemblage de petits relais. Les chercheurs ont considéré les conditions du milieu (ex.: niveau d'éclairement), les besoins de travail, les changements au niveau de la surveillance et l'utilisation de programmes de motivation pour accroître la production.

The authors found that none of these factors could be said to have a cause-effect relationship on productivity -- which as in the first Hawthorne study showed a continuous increase over time under most conditions. They conclude that the productivity increases were due to increased motivation and a more positive attitude toward the job. The changes in work performance were due not to perceived changes in the working environment, but changes in the worker's attitude toward the job. Differences of opinion exists as to the specific attitude change that caused increased motivation, but there is specific attitude change that caused increased motivation, but there is general agreement in the main findings that the productivity changes were due not to the environmental

Les auteurs ont découvert qu'aucun de ces facteurs n'avait réellement un effet direct sur la productivité, laquelle s'était accrue continuellement avec le temps dans la plupart des conditions établies lors de la première étude. Ils en sont arrivés à la conclusions que les augmentations de productivité étaient liées à une plus grande motivation et à un meilleur état d'esprit vis-à-vis du travail. Les variations de rendement au travail n'étaient pas attribuables à des changements dans le milieu de travail, mais à une modification de l'état d'esprit du travailleur. Les opinions diffèrent quant à ce qui a précisément contribué à accroître la motivation, mais on s'entend généralement sur les principales conclusions qui veulent que les hausses de productivité ne soient pas

variable manipulated (light levels) but to psychological changes resulting from participation in the study[3]. So profound was this discovery that the term "Hawthorne Effect" is still used to caution behavioral researchers about the pitfalls of finding simple cause/effect relationships in field studies.

dues aux variables environnementales manipulées (niveaux d'éclairement) mais aux facteurs psychologiques liés à la participation à cette étude.[3] Cette découverte était si importante qu'on emploi encore l'expression "effet Hawthorne" pour mettre en garde les chercheurs contre les pièges inhérents à la recherche de relations simples de cause à effet dans les études sur le terrain.

Non-visual components of the environment can play an important role in the appearance and acceptability of the visual environment, thus affecting worker performance and user acceptability. In short, these variables can act as contaminating, uncontrolled stimuli in studies of the visual environment. Yet, they do not make direct contributions to visibility per se, i.e., "how well we see". These non-visual factors (e.g., motivation and mood) are generally products of past experience, that is, learned behavior which can differ from individual to individual. These variables may play a role in determining "how well **we think** we see", but responses of this type should not serve as the basis for an objective criterion for recommending levels of illumination. Any investigation attempting to quantify 'goodness of seeing' as a function of levels of illumination at the acceptability and/or productivity levels can be confounded by contributions from these non-visual components.

Les éléments non visuels peuvent jouer un rôle important dans la perception et l'acceptabilité d'un environnement visuel, ce qui influence le rendement du travailleur et l'acceptation de l'utilisateur. En bref, disons que ces variables sont des stimuli incontrôlés présents dans toutes les études de l'environnement visuel. Elles n'exercent cependant pas d'effet direct sur la visibilité en soi, c'est-à-dire sur le degré de perception visuelle. Ces facteurs non visuels (ex.: motivation et état d'esprit) proviennent généralement d'expériences passées, c'est-à-dire d'un "comportement appris" qui varie selon les personnes. Ils peuvent jouer un rôle dans la façon dont **nous pensons** voir, mais ce genre de considérations ne doit pas constituer le fondement des recommandations sur les niveaux d'éclairement. Toute recherche visant à quantifier le degré de perception visuelle par rapport aux niveaux d'éclairement pour des niveaux d'acceptabilité et de productivité peut être faussée par ces éléments non visuels.

In summary, because of the difficulty in controlling the contributions of non-visual variables, the writer feels the use of acceptability and productivity studies as the empirical basis for **quantifying** recommended levels of illumination is questionable. Rather, studies involving direct assessments of the visual process are suggested as the most valid basis for recommending levels of illumination. On the other hand, although non-visual variables do not directly affect "**how well** we see", they must be considered in lighting **design**, since user acceptability and worker productivity are the final criteria in the assessment of the usefulness of a building.

En résumé, l'auteur du présent document pense qu'il est discutable d'utiliser les études d'acceptabilité et de productivité comme base empirique pour la **quantification** de niveaux d'éclairement recommandés, en raison de la difficulté de contrôler les éléments non visuels. Nous recommandons plutôt que les études évaluant directement le mécanisme de la vue servent de fondement pour la recommandation des niveaux d'éclairement. Par contre, même si les variables non visuelles n'exercent pas une influence directe sur le degré de perception visuelle, on doit en tenir compte dans la **conception** des installations d'éclairage, puisque l'acceptabilité de l'utilisateur et la productivité du travailleur sont les critères de base pour déterminer la valeur pratique d'un immeuble.

5.0 VISUAL PROCESS

The visual process is defined as including the basic physiological processes (e.g., retinal receptors) up to evaluative responses of the visual environment (e.g., this space appears dynamic). That is, the response is directly traceable to inputs obtained from the visual system. Following the lead of Jay[8], we can define the continum in terms of **information** processing, i.e., "anytime we ask a human observer to respond to any externally applied stimuli, some level of information processing occurs". Information processing (interpreting) contributes little to simple visual responses. Neural responses occurring between the externally applied stimuli and the subject's response can be obtained. This may not be practical and furthermore is not necessary, but we must realize that different degrees of information processing occurs when the dependent variable (measured output) is directly linked to responses from the observer. When we confine ourselves to simple overt responses from the human observer, as in psychophysical experiments, the level of information processing is minimal and increases as observers are asked to consciously (or unconsciously) evaluate or interpret a given visual environment, e.g., "Are you satisfied with the lighting in this space?".

This visual process continuum is a large and complex one, with probably no definitive point at which it can be divided into distinct categories. We shall adopt the distinction suggested by Bartley[9] and divide the continuum representing the visual processes into two categories: "The first is the behavior that follows closely upon stimulation, a behavior that is immediately available for responses to the stimulus impingement upon it. The second category includes all activity that succeeds the first...". We shall label the first category the **sensory process** and the second the **perceptual process.** An experiment by Leibowitz et al.[10] described below is an operational example of the distinction made above.

5.0 MÉCANISME DE LA VISION

Le mécanisme de la vision comprend les mécanismes physiologiques de base (ex.: récepteurs rétiniens) jusqu'à l'évaluation de l'environnement visuel (ex.: "cet espace est très vivant"). Cette dernière réaction est directement fonction des informations obtenues du système visuel. D'après Jay[8], nous pouvons définir tout le processus en terme de traitement de **l'information,** soit "chaque fois que nous demandons à un observateur humain de réagir en fonction de stimuli extérieurs, il s'effectue un certain traitement de l'information". Le traitement de l'information (interprétation) contribue peu aux simples réactions visuelles. On peut étudier les réactions nerveuses survenant entre les stimuli extérieurs et l'interprétation du sujet. Ces données n'ont pas de valeur pratique et par surcroît ne sont pas nécessaire, mais nous devons nous rendre compte que différents degrés de traitement de l'information existent lorsque la variable dépendante mesurée est directement liée aux réactions de l'observateur. Lorsque nous ne travaillons qu'avec les simples réactions manifestes de l'observateur, comme dans les expériences psychophysiques, le niveau de traitement de l'information est minime et augmente à mesure que nous demandons au sujet d'évaluer ou d'interpréter consciemment (ou inconsciemment) un environnement visuel donné, par une question comme "Êtes-vous satisfait de l'éclairage de cette pièce?").

Le mécanisme de la vision est élaboré et complexe, et difficile à diviser en catégories. Nous adoptons malgré tout les conclusions de Bartley[9] qui suggère deux catégories: "la première est le comportement suivant de près le stimuli, comportement qui permet de réagir immédiatement aux impressions de l'image sur la rétine, et la seconde comprend toutes les activités suivant la première catégorie . . ." La première catégorie regroupe les **processus sensoriels** et la seconde les **processus perceptifs.** L'expérience de Leibowitz et ses collègues[10] décrite ci-dessous fournira un exemple de cette distinction.

Leibowitz et al limited information processing by controlling the presentation duration of the stimuli. The stimuli were tilted circular targets presented at two different exposure durations, 0.01 and 1.0 seconds. They found that for the longer exposure the predominant response was "a circle", whereas with the shorter duration the observers reported seeing ellipses. These findings were explained as follows although this may not be the only explanation: for the shorter duration the responses followed the law of retinal image, the tilted circle forms an ellipse on the retina. For the one-second exposure the responses followed the law of shape constancy, that is, although the retinal image was an ellipse, the opportunity to have more than a single glance at the target permitted information processing to occur, i.e., a circular plate on the horizontal plane appears elliptical. In the longer duration case interpretation or judgement could take place, but for the shorter duration, the time to make eye movements was limited. The longer duration permitted the subject to make more than one glace. It allowed time for adequate information processing to occur, permitting a subject to reach a conclusion based on the relationship between sensory input and information acquired by past experience. In the short duration exposure, the response was closely related to the stimulus characteristics with limited interpretation, whereas the longer exposure involved a higher order of stimulus interpretation[9].

Leibowitz a limité le traitement de l'information en faisant varier la durée des stimuli. Les stimuli étaient des cercles inclinés présentés pendant deux temps d'exposition différents, soit 0,01 et 1,0 seconde. Les chercheurs ont pu remarquer qu'avec une exposition de 1,0 seconde, les sujets répondaient généralement "un cercle", alors qu'avec une exposition plus courte, ils voyaient surtout une ellipse. Voici les explications qui ont été données, même si elles ne constituent pas l'unique interprétation possible: avec un temps d'exposition de 0,01 s, la loi de l'image rétinienne s'applique, l'anneau circulaire incliné forme une ellipse sur la rétine; avec une exposition de 1,0 s, la loi de la cohérence des formes intervient, c'est-à-dire que même si l'image rétinienne est une ellipse, le sujet a le temps d'observer la cible plus longtemps et de comprendre que l'ellipse qu'il croit voir est en fait un anneau circulaire incliné (traitement de l'information). Le temps d'exposition plus long permet à l'observateur d'interpréter ou de porter un jugement, ce qu'il ne peut faire avec l'exposition de 0,01 s car les mouvements de l'oeil sont limités. La plus longue exposition permet au sujet de jeter plus d'un coup d'oeil, ce qui lui donne le temps de traiter l'information et d'en arriver à une conclusion à partir des stimulations sensorielles et de son expérience passée. Quand l'exposition est plus brève, la réaction est très rapprochée des caractéristiques du stimulus et laisse peu de place à l'interprétation alors que l'exposition plus longue implique une meilleure interprétation du stimulus.[9]

The above is an example where the learning situation or experience is similar for most observers, therefore, difference in responses **between** individuals would be minimal. As we increase the level of information processing, consequently, increasing the diversity of past experience (information) on which the response is based, we find corresponding increases in the diversity of responses between individuals.

Cette recherche est un exemple de situation d'apprentissage ou d'expérience qui donne des résultats identiques pour la plupart des observateurs car les différences de réaction sont minimes. Si nous augmentons le degré de traitement de l'information, diversifiant ainsi l'expérience passée (information) sur laquelle repose la réaction, nous remarquons immédiatement qu'il se produit une gamme plus étendue de réactions parmi les sujets.

6.0 SENSORY PROCESS

The sensory processes are the elementary processes or sensations underlying perception. The sensations (e.g., brightness) are then interpreted or evaluated, leading to impressions of the environment (e.g., "This space is cheerful", or "This space is gloomy"). Sensations are generally investigated by psychophysical or physiological studies. These sensations may then be interpreted or evaluated (additional information processing) resulting in an occupant's evaluative response assessed by questionnaires; preference, similarity-dissimilarity, like-dislike scales, etc.

The sensory process differs from the perceptual process in that the response is largely determined by the visual sensory system and fairly predictable[9]. Another important distinction is that the sensory process is minimally influenced by past experience or learning, relative to the perceptual and psychological factors discussed earlier. That is, the level of information processing can be kept to a minimum in investigations of the sensory processes. This is not to say that the sensory process data are totally unaffected by past experience or attitudes. For example, the response of the observer may be influenced by the "set" of the observer. Visual cues are more readily detected when the observer is expecting them and conversely it may not be seen if one is distracted -- e.g., listening to a conversation. But these nonsensory contributions are relatively easy to control in laboratory investigations, e.g., a warning signal before the onset of the visual stimuli, for the example cited above.

6.0 PROCESSUS SENSORIELS

Les processus sensoriels comprennent les mécanismes ou les sensations élémentaires à la base de la perception. Ces sensations (ex.: brillance) sont ensuite interprétées ou évaluées pour permettre la formulation d'impressions concernant l'environnement (ex.: "Cette pièce est gaie" ou "Cette piès est lugubre"). Les sensations font généralement l'objet d'études psychophysiques ou physiologiques. Elles peuvent alors être interprétées ou évaluées (autre traitement de l'information) au moyen de questionnaires fournis au sujet: échelles de préférence, de similitude, de goût, etc.

Les processus sensoriels sont différents des processus perceptifs en ce que la réaction est en grande partie déterminée par le système visuel et est assez prévisible.[9] Une autre distinction est que les processus sensoriels sont moins influencés par l'expérience passée que les facteurs perceptifs et psychologiques dont il a été question plus haut. Dans les recherches sur les processus sensoriels, le niveau de traitement de l'information peut être gardé au minimum. Cela ne veut cependant pas dire que ces processus ne sont pas du tout influencés par les expériences passées ou les états d'esprit. Par exemple, les réactions d'un observateur peuvent varier selon la "préparation" de celui-ci. Les subtilités visuels sont plus faciles à percevoir si le sujet est prêt à les observer; ce dernier peut ne pas les voir s'il est distrait, par exemple s'il écoute une conversation. Ces facteurs non sensoriels sont cependant relativement faciles à contrôler en laboratoire (ex.: en émettant un signal avant de déclencher le stimulus).

7.0 PERCEPTUAL PROCESS

The perceptual process involves evaluative responses, impressions (**what** we see). But the role of impressions in work performance and user acceptance involves more than what we see. It may include higher orders of information processing like preference (what we **like** to see) or evaluative responses (what we **think** we see). As stated earlier, an important component in higher order impressions is learned behavior, which can lead to significant differences in responses between different individuals, activities and cultures because of differences in past experience.

Even with similar past experiences lighting level preferences may differ, depending on the activity or use of the space. A given lighting level may be called gloomy for one type of activity or space (office), but that same level may be described as intimate or relaxing for another (dining). Conversely, a lighting level said to be too bright for one activity (dining), may be judged to be satisfactory for another activity (office work).

There is universal agreement that consideration of perceptual factors, impressions, is necessary in a good lighting design. Recently, Lam[11], Jay[8] and Boyce[12] have discussed the role and importance of subjective impressions in lighting design. Flynn[12] has described and discussed research methodologies--factor analysis, multidimensional scaling and semantic differential techniques--that identify and scale these impressions in a systematic and objective way. Lighting can be manipulated to give the desired impressions for a given space and activity. But what role should impressions play in an objective basis for recommending levels of illumination for visual task performance?

7.0 PROCESSUS PERCEPTIFS

Les processus perceptifs comprennent les réactions et les impressions d'évaluation (ce que nous **voyons**). Mais le rôle des impressions dans le rendement au travail et l'acceptation par l'utilisateur ne se limite pas à ce que nous voyons. Elles peuvent impliquer des niveaux plus élevés de traitement de l'information comme les préférences (ce que nous **aimons** voir) ou les évaluations (ce que nous **pensons** voir). Tel que mentionné plus tôt, le "comportement appris" est un élément important des impressions de niveau élevé, élément qui peut faire varier grandement les réactions selon les personnes, les activités et les cultures, à cause des expériences passées.

Même avec des expériences passées identiques, les sujets peuvent exprimer des différences de préférence quant aux niveaux d'éclairage, selon l'utilisation de l'espace. Un certain niveau d'éclairage peut être sombre pour un type d'activité ou un espace (bureau) et être décrit comme intime ou reposant pour une autre utilisation (dîner). Inversement, un éclairage peut être trop fort pour une activité (dîner) et jugé satisfaisant pour une autre (bureau).

Tout le monde s'entend généralement pour affirmer qu'il est nécessaire de tenir compte des facteurs perceptifs ou impressions pour concevoir une bonne installation d'éclairage. Lam[11], Jay[8] et Boyce[12] se sont récemment penchés sur le rôle et l'importance des impressions subjectives dans la conception de l'éclairage. Flynn[12] a décrit les méthodes de recherche (analyse des facteurs, technique différentielle sémantique et échelle multidimensionnelle) qui identifient ces impressions et établissent des échelles pour celles-ci, de façon systématique et objective. On peut manipuler l'éclairage de façon à susciter les impressions voulues en fonction d'un espace ou d'une activités donnés. Mais quel rôle peuvent jouer les impressions comme base objective dans la recommandation de niveaux d'éclairement pour des tâches visuelles?

Impressions of the visual environment are components that can affect work performance and user acceptance. Impressions also involve the concept of "what we see", and this involves higher orders of information processing or stimulus interpretation. However, if visual conditions are too poor, than the perceptual deficiency is due to the sensory process. For example, if the visual conditions are such that an observer mistakes an E for a B, this most probably was due to sensory process limitations, although most of us can think of instances where letter misidentification was due to other factors. However, other phenomena that we all see cannot be explained in terms of limited sensory capacity. A central organizing mechanism seems to be at work. Gestalt psychologists have concentrated their attention upon such problems. For example, in figure 2, even under high visibility, one will see a vase or two faces. What we see is not due to limited sensory capacity. Most of us see a vase or a face, but not both simultaneously. At one time, you may see black figures, silhouette of faces on a white background, but at the next moment you may see a white figure, a vase, on a black background. We all agree this is what we see. But there are other situations where the same sensory input results in significantly different responses. In the case of the Rorschach test, standard inkblots are clearly seen. See figure 3. When subjects are asked, "What do you see?", individuals report different things, that is, interpret the inkblots differently. This is an example of the same visual stimulus evoking significantly different responses.

Les impressions concernant l'environnement visuel peuvent influencer le rendement au travail et l'acceptation par l'utilisateur. Avec les impressions, on touche à la notion de "ce que nous voyons" et à des niveaux élevés de traitement de l'information ou d'interprétation des stimuli. Cependant, si les conditions visuelles sont trop mauvaises, les lacunes perceptives sont dues aux processus sensoriels. Par exemple, si les conditions font que l'on confond les lettres E et B, cela est dû très probablement aux processus sensoriels, même si la plupart d'entre nous connaissons des cas où d'autres facteurs étaient en cause. D'autres phénomènes connus de tous ne peuvent être expliqués en terme de capacité sensorielle limitée. On parle alors de mécanisme organisateur central. Les psychologues Gestalt ont étudié la question. Par exemple, à la figure 2, même avec une grande visibilité, un observateur voit soit un vase, soit deux visages de profil. L'effet n'est pas attribuable à une diminution de la capacité sensorielle. La plupart d'entre nous voyons l'une des deux images mais non les deux simultanément. À un certain moment, nous voyons deux profils noirs sur fond blanc; tout de suite après nous percevons un vase blanc sur fond noir. Nous sommes tous d'accord pour affirmer que c'est bien ce que nous voyons. Il existe cependant d'autres situations où les mêmes stimulations sensorielles provoquent des réactions très différentes. Dans le cas du test de Rorschach, les taches d'encre sont bien visibles. Voir figure 3. Lorsque l'on demande aux sujets "ce qu'ils voient", chacun interprète le dessin à sa façon. Voilà un exemple d'un même stimulus visuel provoquant des réactions très différentes.

The intent of these examples is to demonstrate the role of past experience and emotional involvement in the perception or evaluation of the visual world. In the case of the reversible vase and face, most people in our culture will see a vase and face alternately, but even within the same culture the response to the Rorschach will vary greatly between individuals. The influence of these perceptual factors in user acceptance or work performance assessments cannot be underestimated. If the criterion is "how much light do we need to see", then we must minimize the perceptual inputs. This result can be accomplished by obtaining the experimental data from studies at the more basic level of the sensory process, rather than at the higher perceptual levels - likely to be contaminated by extraneous and uncontrolled variables.

Ces exemples servent à démontrer le rôle des expériences passées et des émotions dans la perception ou l'évaluation du monde visuel. Dans le cas de l'effet réversible forme-fond (vase et profils), la plupart des individus appartenant à notre culture verraient le vase et le profils en alternance; pour ce qui est du test de Rorschach, les réactions varieraient grandement même chez les gens d'une même culture. On ne peut sous-estimer l'influence des facteurs perceptifs dans l'évaluation de l'acceptabilité de l'utilisateur et sur le rendement au travail. Si l'on veut connaître la quantité de lumière nécessaire pour voir, il faut alors réduire au minimum les éléments perceptifs. Pour ce faire, on doit recueillir les données expérimentales à partir d'études portant sur les niveaux élémentaires des processus sensoriels et non sur les processus perceptifs auxquels sont normalement liées des variables étrangères et incontrôlées.

8.0 VISIBILITY

The index of how well we see is visibility. But this index may vary as a function of the difficulty and complexity of the stimuli and the judgements required of the observer in extracting information from the visual environment. At the simplest visibility level is a **detection** task -- determining the presence or absence of an object in the field of view. In the laboratory we can have observers detect the presence of a disc. In industry, a practical example is the detection of a crack in machined or welded parts as seen on an X-radiograph. The defect in this instance is seen as an inhomogeneity in an otherwise homogeneous field and can range in visibility from near threshold (just barely being able to see the hairline inhomogeneity) to highly visible.

The next higher order of visual task performance is **recognition.** This requires the observer not only to detect the presence of an object, but also to recognize it as a member of a group. This visibility level will generally require shape or form discrimination. Laboratory recognition tasks, for example, typically require the discrimination of geometric forms or the determination of the minimum separation between two parallel lines not involving discrimination of details. Applications to the real world may be of the form: "The object I see is a triangle, a letter, a man, etc.".

The detection and recognition levels of task performance are followed by the **identification** level. This level requires the prior performance of the first and second levels. In addition, the observer must be able to discriminate between members of the same group. The additional performance requirement is the perception of details, for example, facial features, type of letter, etc. A simple paradigm of the above discussion is: I see something (detection), it is a man (recognition) and this particular man is John Doe (identification). Or, I see something on the paper, they are letters and the letters are E's.

8.0 VISIBILITÉ

La visibilité est la mesure du degré de perception visuelle. Elle peut cependant varier en fonction de la difficulté et de la complexité des stimuli ainsi que des jugements que doit porter l'observateur en recueillant les informations contenues dans l'environnement visuel. La première tâche au niveau le plus simple de la visibilité est la **détection**, soit déterminer la présence ou non d'un objet dans un champ. En laboratoire, les observateurs tentent de déceler un disque. En pratique dans l'industrie, il s'agit de détecter une fissure dans une pièce usinée ou soudrée, à partir d'une radiographie. Dans ce cas le défaut est vu comme une inhomogénéité dans un champ homogène et peut aller d'un niveau de visibilité proche du seuil (à peine capable de déceler la petite inhomogénéité) à une très grande visibilité.

La deuxième étape concernant la performance sur la tâche visuelle est la **reconnaissance.** Il faut non seulement que le sujet détecte l'objet mais qu'il le relie à un certain groupe. Il doit généralement reconnaître les formes de l'objet. Par exemple en laboratoire, on peut demander à un observateur de reconnaître des formes géométriques ou de déterminer la séparation minimale entre deux lignes parallèles, sans entrer dans les détails. Applications pratiques: reconnaissance d'un triangle, d'une lettre, d'une forme humaine, etc.

Après la détection et la reconnaissance de la tâche, on passe à l'**identification.** Pour parvenir à cette étape, il faut avoir réalisé les deux premières. De plus, l'observateur doit être en mesure de faire des distinctions parmi les membres d'un même groupe: perception des détails du visage, type de lettre, etc. Voici un exemple des trois étapes: je vois quelque chose (détection), c'est un homme (reconnaissance) et cet homme se nomme John Doe (identification). Ou bien, je distingue quelque chose sur la feuille, ce sont des lettres et il s'agit de "E".

Three levels of visual task requirements have been described and differentiated according to how the visual input is used and also with respect to the amount of information processing required. A description of the three levels in terms of their psychophysical correlates is now necessary, to indicate the change in responses associated with each level.

Nous avons décrit et différencié les trois étapes d'une tâche visuelle en fonction de l'utilisation de la stimulation visuelle et du traitement de l'information requis. Il faut maintenant les absorber du point de vue psychophysique afin d'indiquer les différentes réactions associées à chaque niveau.

The most basic and simplest response of the visual mechanism is the discrimination of differences in luminance. In a detection task, this discrimination between two luminance levels, or **contrast information**, is all that is required. In a recognition study, "the task consists of (1) detecting the presence of a signal, then (2) assigning the signal to a category which has definitive class properties. Whatever theoretical position investigators have adopted, all researchers agree that the **contour** (outline) of a figure is the 'cue' or 'information' carrier for shape"[14]. Thus, for a detection task, a difference in luminance is sufficient to determine the presence of a signal, and defines the total requirement. For a recognition task, the additional requirement of contour discrimination is imposed. Identification differs from recognition in that the former involves the perception of details as well as contours and involves aspects of image quality that improve clarity of detail.

La réaction la plus élémentaire du mécanisme de la vision est la distinction des différences de luminance. Lors de la détection, il suffit de distinguer les différences de niveau de luminance, ou les **contrastes**. Dans la reconnaissance, "la tâche consiste à (1) déceler la présence d'un signal et ensuite à (2) lui attribuer une catégorie dont les éléments ont des propriétés bien définies. Peu importe la position théorique adoptée par les chercheurs, tous s'accordent à dire que le **contour** (profil) d'une figure ou d'un objet donne les informations permettant d'établir la forme".[14] Ainsi, pour la détection, une différence de luminance permet de déterminer la présence d'un signal, et c'est suffisant. Pour la reconnaissance, on doit détecter en plus le contour de la figure ou de l'objet. L'identification est différente de la reconnaissance en ce qu'elle nécessite la perception des détails aussi bien que les contours et une certaine qualité d'image qui améliore la netteté des détails.

Additional indications of this progressive increase towards the need for more precise and detailed information from the target as we go from detection to recognition to identification is shown by studies of image enhancement techniques. Brainard and Caum[15] investigated the effects of modification of the edge gradients on visual performance by sharpening, that is, making the details less blurry. They found that the enhancement technique became more effective as the subject's task became more difficult, that is, as the tasks progressed from detection to recognition to identification. For example, by sharpening the edge gradients of their images, the relative improvement in performance was 35 per cent for target detection tasks, but 110 per cent for identification tasks. In another comparison, the relative

Une autre indication de ce besoin croissant d'informations plus précises et détaillées de la cible pour passer de la détection à l'identification est fournie par les études portant sur les techniques d'amélioration de l'image. Brainard et Caum[15] ont analysé les effets de la modification des gradients de bord sur les performances visuelles en accentuant, c'est-à-dire en rendant les détails moins flous. Ils ont découvert que cette technique devenait plus efficace à mesure que la tâche visuelle se compliquait, c'est-à-dire de la détection à la reconnaissance à l'identification. Par exemple, en accentuant les gradients de bord de leurs images, ils ont obtenu une augmentation de 35 pour cent des performances visuelles pour la détection et de 110 pour cent pour l'identification. Dans une autre expérience, ils ont observé une

improvement of 17 per cent obtained for recognition tasks contrasted with a 57 per cent improvement for the corresponding identification tasks. Improving the sharpness of the visual detail results in a progressively greater improvement in performance as we go from simple detection to recognition followed by identification.

The above studies are based upon threshold considerations, **just barely** being able to perform at some criterion level, e.g., "I **just barely** see the spot of light" (detection), "I **just** see that it is a ring" (recognition), "I can **barely** tell that the number is a three and not an eight" (identification). Therefore, these studies also involve different levels of task discrimination and information processing.

There are advantages to using the threshold definition of visibility. Threshold studies are all direct measures of **performance**, be they detection, recognition or identification. On the other hand, there is a major difficulty with such performance measures. The value of 100 per cent performance is a limiting one. That is, we cannot assess differences in goodness of seeing beyond this 100 per cent performance level, if in fact they do exist. No improvement in goodness of seeing beyond this point is assumed in threshold performance measures. Yet in our daily experience, we encounter numerous examples of being able to see objects or read printed matter with 100 per cent accuracy, and yet we confidently state that one is better (easier to see) than another. This methodological limitation must be overcome if a viable experimental basis for lighting standards is to be developed.

amélioration relative de 17 pour cent du rendement pour la reconnaissance et de 57 pour cent pour l'identification des tâches d'identification correspondante. L'accentuation des détails visuels provoque donc une améliorations progressive du rendement en passant de la détection à la reconnaissance et à l'identification.

Les études susmentionnées reposent sur des situations de visibilité liminale soit **à peine** capable d'exécuter la tâche" selon certains critères: "Je distingue **à peine** la tache lumineuse" (détection), "Tout ce que je peux dire c'est que c'est un anneau" (reconnaissance), "Je peux **à peine** dire que c'est un trois et non un huit" (identification). Ces études comprennent donc différents niveaux d'évaluation des tâches et de traitement de l'information.

Il est avantageux d'employer la notion de visibilité liminale. Les études de visibilité liminale servent à mesurer directement les **performances** lors de détection, de la reconnaissance ou de l'identification. La mesure des performances comporte cependant des difficultés importantes. La notion de rendement de 100 pour cent est limitative; il est impossible d'évaluer des perceptions supérieures à ce niveau, si tant est qu'elles existent. Dans ce type d'études, on ne peut donc mesurer des performances supérieures à 100 pour cent. Dans la vie de tous les jours, nous sommes témoin de nombreux cas où des personnes perçoivent des objets ou lisent des textes imprimés avec un rendement de 100 pour cent; nous pouvons cependant affirmer que l'un, par exemple, est meilleur (plus facile à voir) qu'un autre. Il faut dépasser ces limites méthodologiques si nous voulons établir une bonne base pour l'établissement des normes d'éclairage.

Lighting standards based on threshold studies face another criticism. In most everyday office tasks involves predominantly a visual component, however, we are not working at threshold levels, or would be unhappy if we had to. For example, a reproduction of written or typed material which is so poor that all we can state is that something is on the paper (detection) is not acceptable. If the reproduction were sufficiently good to state that it is printed matter, it would still not meet our needs. If the copy were improved to the extent that we could, with some certainty, identify a given letter (e.g., discriminate between and E and B) but just barely make such a discrimination, the visual task would still be unsatisfactory. We would expect marginal task performance under this condition -- i.e., a high error rate and/or low production. Reproduced, written or types materials however, is seldom this poor. Instead, for most typical office task conditions, the primary concern is **how well** written or typed material (original and/or reproduced), can be seen. The criterion for visual performance should therefore be based on goodness of seeing, e.g., "I see the letter E under both conditions, but it is clearer under condition A rather than B". Just barely being able to detect, recognize or identify an object is unacceptable in most everyday situations, where lighting is used to perform visual tasks.

We will not examine two different research approaches to develop standards for lighting level recommendations: threshold studies (9.0) and suprathreshold experiments (10.0). As we will see next, these two different approaches differ not only with respect to experimental methodology but also in terms of research assumptions, findings, and implications for lighting standards development.

Les normes d'éclairage reposant sur des études de visibilité liminale sont sujettes à une autre critique. Pour la plupart des tâches de bureau principalement visuelles, les employés ne travaillent pas dans des conditions de visibilité liminale ou ne voudraient pas le faire. Par exemple, nous n'accepterions pas de travailler à partir d'une copie d'un document écrit ou dactylographié dans lequel nous ne distingerions que des marques inintelligibles (détection). Si la copie était suffisamment bonne pour permettre d'affirmer que le document renferme des caractères imprimés (reconnaissance), cela ne serait pas encore suffisant. Si nous pouvions identifier une lettre (entre E et B) avec une certaine certitude, et rien de plus (identification), la tâche visuelle présenterait toujours des difficultés. Dans ces conditions le rendement serait médiocre: haut taux d'erreurs et/ou faible production. La qualité d'une copie ou d'un document écrit à la main ou dactylographié est rarement aussi mauvaise. Dans la plupart des cas, la première préoccupation est plutôt de s'assurer de la qualité visuelle du document écrit ou dactylographié (original et/ou copie). Les critères de performances visuelles doivent donc se fonder sur la qualité de la visibilité: "Je distingue la lettre "E" dans les deux cas, mais c'est plus net dans la situation A que dans la situation B. Une visibilité liminale pour la détection, la reconnaissance et l'identification d'un objet est insuffisante dans la plupart des cas où l'éclairage sert à exécuter des tâches visuelles.

Nous allons maintenant examiner deux différentes méthodes de recherche pour l'élaboration de normes relatives aux niveaux d'éclairage: les études de visibilité liminale (9.0) et les expériences de visibilité supraliminale (10.0). Comme nous le verrons, ces deux méthodes sont non seulement différentes sur le plan des aspects expérimentaux mais également quant aux hypothèses de travail, résultats et implications pour les normes de travail.

9.0 THRESHOLD VISIBILITY STUDIES

Let us now consider a number of threshold performance studies in greater detail (an extensive review of this topic is beyond the scope of this report). The interested reader can find a detailed treatment of the subject in references 17, 18 and 19. Figures 4 and 5 present some typical threshold type targets. Figures 4A and B are commonly used in detection threshold experiments. Figures 4C, D and E are recognition tasks commonly used in acuity threshold experiments. In C the task is to determine the minimum detectable separation between the two parallel lines, in D the smallest gap that can be seen in the broken circle (Landolt C) and in E the task is to recognize a grating pattern, i.e., alternating dark and light lines. Figure 5 is the Jeager Eye Chart, and example of an identification acuity test. Figures 6 and 7 are the results from contrast detection experiments. On the ordinate we have the contrast required to just detect a luminous spot against a darker background. All points falling on a given curve are equal in that they are detected the same percentage of times, for example 50 per cent. Another way of describing these data is that the ability of the eye to perceive a luminance difference between the detail and its background is constant for all points falling on the curve, within experimental errors. But these equal threshold contours only account for the lowest portion of the infinite number of levels of seeing existing between threshold and high visibility targets.

9.0 ÉTUDES DE VISIBILITÉ LIMINALE

Analysons maintenant plus à fond un certain nombre d'études de visibilité liminale (une analyse plus approfondie de ce sujet dépasserait les objectifs de ce document). Le lecteur intéressé pourra trouver une étude plus détaillée aux renvois 17, 18 et 19. Nous voyons aux figures 4 et 5 des cibles types pour les expériences de visibilité liminale. Les figures 4A et B sont couramment employés dans les expériences de détection liminale. Les figures 4C, D et E servent aux tests d'acuité liminale pour les tâches de reconnaissance. En C, il s'agit de déterminer la séparation minimale entre deux lignes parallèles, en D, de déceler le plus petit écartement dans l'anneau brisé de Landolt et en E, de reconnaître un modèle de grille, c'est-à-dire des lignes foncées ou claires en alternance. La figure 5 représente le tableau de Jaeger, un exemple de test d'acuité pour les tâches d'identification. Aux figures 6 et 7, nous voyons les résultats d'expériences de détection des contrastes. En ordonnée, nous trouvons les contrastes nécessaires pour détecter une tache lumineuse sur un fond plus foncé. Tous les points appartenant à une courbe donnée ont la même valeur, c'est-à-dire que les taches ont été décelées avec le même pourcentage, par exemple 50 pour cent. Nous pouvons présenter ces données d'une autre façon: le degré de perception d'une différence de luminance (détails et fond) est constant pour tous les points appartenant à une même courbe, à l'intérieur des erreurs expérimentales. Mais ces courbes de seuil ne s'intéressent qu'aux niveaux inférieurs de visiblité parmi les innombrables valeurs existant entre les cibles de visibilité liminale et de visibilité élevée.

Figure 8 presents the results from a recognition acuity threshold experiment, the open circle for a Landolt C target and the filled circles for a grating pattern. These curves are also equal visibility contours, the difference between this approach and the one described above is that **acuity** is now the measure of visibility. Acuity is defined as the reciprocal of the angular subtense of the detail (minimum width, separation, gap, etc.) in minutes of arc. The acuity threshold is higher on the visibility scale than detection thresholds but is still far from the higher legibility levels encountered in typical office tasks. The detection and recognition threshold studies are similar in that the functions are monotonic, a continuously increasing or decreasing function as luminance is increased. In both cases performance level increases with increased luminance.

La figure 8 donne les résultats d'un test de seuil d'acuité pour les tâches de reconnaissance, les cercles vides représentant la cible de Landolt et les cercles pleins identifiant le modèle de grille. Ces courbes sont également de type visibilité égale, sauf que contrairement à l'expérience susmentionnée, l'instrument de mesure est l'**acuité**. L'acuité est définie comme l'inverse de la valeur en minutes sexagésimales du plus petit angle sous lequel l'oeil peut encore percevoir séparés deux objets paraissant très rapprochés (largeur, séparation, écartement minimaux, etc.). Le seuil d'acuité est plus élevé sur l'échelle de visibilité que le seuil de détection mais se situe encore très loin des niveaux très élevés de lisibilité trouvés dans les bureaux. Les études portant sur les seuils de visibilité dans les tâches de détection et de reconnaissance sont semblables en ce que leurs fonctions sont monotones, continuellement croissantes ou décroissantes quand on augmente la luminance. Dans les deux cas, les performances visuelles s'améliorent avec l'augmentation de la luminance.

If threshold studies adequately describe the performance of the visual system for all levels of task difficulty and complexity, then we should establish that these detection threshold eye sensitivity functions are applicable for suprathreshold conditions. Tinker in 1948 made this point as follows: "But to prescribe standards in terms of scores derived from measurements made with the Visibility Meter (Luckiesh) is open to serious questions. The basis data are threshold scores. While the derived scores may appear logical, suprathreshold seeing is not the same situation as threshold seeing"[16].

Si les études de visibilité liminale décrivent bien les performances du système visuel pour tous les niveaux de difficulté et de complexité de la tâche, nous devrions alors établir que ces fonctions de sensibilité de l'oeil au seuil de détection s'appliquent également aux conditions de visibilité supraliminale. Tinker en 1948 a déclaré ce qui suit: "Mais avant de prescrire des normes s'inspirant d'évaluations tirées de mesures obtenues avec le visibilimètre (Luckiesh), on peut se poser de sérieuses questions. Les données de base sont des mesures de visibilité liminale. Même s'il peut sembler logique d'extrapoler à partir de ces mesures, les conditions supraliminales sont différentes des conditions liminales".[16]

What is needed are studies where visual performance is investigated beyond the level of minimum (threshold) performance. The laboratory experiment should be of the form: For a definitely identifiable or visible task (suprathreshold) is conspicuity (goodness of seeing) better under illuminance level A or B? More generally, we need a measure that covers the gamut of visual sensitivity (sensation) from barely detectable to highly legible.

Il nous faut procéder à des études portant sur les performances visuelles au-delà du niveau de performance minimum (seuil). Les expériences en laboratoire devraient être du type suivant: pour une tâche définitivement identifiable ou visible (supraliminale), quel niveau d'éclairement (A ou B) offre le plus de netteté? De façon plus générale, il nous faut une mesure couvrant toute la gamme de sensibilité visuelle (sensations), allant de tout juste perceptible à très lisible.

10.0 SUPRATHRESHOLD VISIBILITY STUDIES

Since most real-world tasks are being performed at visibility levels significantly higher than the 'just detectable', 'recognizable' and 'identifiable' levels, we should investigate the function of the eye at levels beyond this minimum or threshold level. In other words the assumption that the function of the visual system is the same at threshold and suprathreshold levels must be tested. One way to test this assumption would be to obtain equal visibility contours at suprathreshold levels. The threshold contrast contour would be the lowest level visibility contour, in a series of such curves.

A technique used in determining the sensitivity of the eye to different wavelengths of light can produce the required suprathreshold visibility contours. In the study to be described, Gibson and Tyndall[20] were interested in determining the luminous efficiency of monochromatic radiant energy at suprathreshold levels, that is, spots of light which are always visible. They found that subjects had considerable difficulty in precisely matching two lights of different hues because of hue differences between the two lights being compared. The authors, therefore, had to devise a methodology to minimize the role of color (hue) differences when making brightness (luminance) matches.

10.0 ÉTUDES DE VISIBILITÉS SUPRALIMINALES

Dans la réalité, la majorité des tâches sont effectuées à des niveaux de visibilité nettement supérieurs aux niveaux permettant de "détecter à peine", de "reconnaître" et d'"identifier" un objet. Nous devons donc étudier la fonction de l'oeil à des niveaux supraliminaux, afin de vérifier l'hypothèse selon laquelle la fonction du système visuel est toujours la même, que la visibilité soit au niveau du seuil ou au-delà. Il faudrait pour cela obtenir des courbes de visibilité supraliminale égale. Dans une série de courbes de ce type, la courbe du contraste au seuil serait la courbe de visibilité au niveau minimal.

On peut tracer les courbes de visibilité supraliminale par une méthode de détermination de la sensibilité de l'oeil à une lumière de longueurs d'onde différentes. Dans l'étude que nous analysons, Gibson et Tyndall[20] ont voulu déterminer quelle est l'efficacité lumineuse de l'énergie rayonnante monochromatique à des niveaux supraliminaux, c'est-à-dire des taches de lumière toujours visibles. Ils ont remarqué que les sujets avaient beaucoup de difficulté à jumeler deux lumières de tonalité chromatique différente, en raison de la dissimilitude de teinte. Ces auteurs ont élaboré une méthodologie permettant de réduire l'influence des différences de teinte (tonalité) dans les comparaisons de luminosité (luminance).

Gibson and Tyndall[20] called the methodology the "step-by-step method". The luminosity (brightness) for an observer's eye under given conditions at any wavelength is measured simultaneously relative to that of a slightly different wavelength. The second wavelength is then compared to a third wavelength, and so on, step-by-step throughout the spectrum. The luminosity at each wavelength is compared with that of a closely adjacent wavelength. The step sizes between wavelengths are chosen so that little or no hue difference is perceptible between any two wavelengths being compared. With these successive "ratios of luminosity" the relative luminosity curve for the region of the spectrum studied can be computed. That is, a curve can be drawn depicting equal brightnesses as a function of radiant energy input per wavelength.

Figure 9 presents the results reported by Gibson and Tyndall as relative visibility vs. wavelength. Relative visibility is defined as $V\lambda$ = luminosity ($L\lambda$)/radiant power ($E\lambda$). Since this was an equality of brightness match, luminosity or brightness is a constant, and therefore the product of $V\lambda$ and the radiant power required for the equality of brightness match is a constant.

Since this paper deals with visibility and levels of illumination the function of interest is equal conspicuity (analogous to equal brightness in the spectral luminous efficiency functions discussed above). Contrast when referred to in this paper is defined as:

$C(MTF) = (L_{max} - L_{min})/(L_{max} + L_{min})$ or;

$$C = \frac{L_B - L_D}{L_B}$$

where MTF is Modulation Transfer Function and subscripts B and D refer to Background and Detail, respectively.

Gibson et Tyndall[20] ont appelé cette technique la "méthode pas à pas". On procède comme suit: la luminosité perçue par l'oeil de l'observateur, à une certaine longueur d'onde, est mesurée par rapport à la luminosité obtenue avec une longueur d'onde légèrement différente. La deuxième longueur d'onde est ensuite comparée à une troisième, et ainsi de suite en passant par tout le spectre. La luminosité à chaque longueur d'onde est comparée à celle d'une longueur d'onde doit être assez petit pour qu'on ne puisse percevoir que très peu ou pas du tout de différence de teinte entre les deux lumières comparées. On peut, avec ces "taux de luminosité" successifs, tracer la courbe de luminosité relative pour la région du spectre étudiée. C'est-à-dire que l'on peut tracer une courbe représentant une luminosité égale en fonction de l'énergie rayonnante par longueur d'onde.

La figure 9 présente les résultats notés par Gibson et Tyndall dans la comparaison de la visibilité relative et des longueurs d'onde. La visibilité relative est définie comme suit: $V\lambda$ = luminosité ($L\lambda$)/flux énergétique ($E\lambda$). Étant donné que dans cette expérience on tentait de jumeler des lumières de même luminosité, cette dernière est une constante et le produit de $V\lambda$ et du flux énergétique nécessaire pour le jumelage est aussi une constante.

Dans le cadre du présent document, qui porte sur la visibilité et les niveaux d'éclairement, la valeur qui nous intéresse plus particulièrement est un niveau égal de netteté (qui est analogue au niveau égal de luminosité dans les fonctions de l'efficacité lumineuse spectrale étudiées ci-dessus). Nous définissons le terme contraste comme suit:

$C(MTF) = (L_{max.} - L_{min.})/(L_{max.} + L_{min.})$, ou;

$$C = \frac{L_B - L_D}{L_B}$$

FTM étant la fonction de transfert de modulation (MTF = Modulation Transfer Function) et B et D désignant respectivement le fond et le détail.

The methodology used in the studies to be described requires subjects to make "step-by-step" matches of perceived contrast under different levels of illumination, similar to the brightness matches made for different wavelengths of light in the Gibson and Tyndall study cited earlier. More specifically, a test target of variable contrast is matched with a comparison target, identical in all respects, except for the luminance of the test target being slightly lower (higher) than the comparison. See figure 10. The subject is asked to match the two fields so that they are equal in conspicuity, i.e., the detail stands out from the background equally for both fields. The median of five conspicuity matches is taken as the measure of central tendency. This median contrast value then serves as the comparison target to be matched with the new variable contrast target whose luminance has been decreased (increased) so that the luminance difference between comparison and test targets is the same as the previous luminance difference between comparison and test targets. The median contrast value of this new test target then serves as the next comparison target, and so on. Thus, when plotting contrast vs. luminance, we have a series of points representing equal conspicuities. That is, each point is perceived to be equal in conspicuity* to the other points on the curve at different luminance levels.

The subject then performs another similar series, the only difference being that the starting comparison contrast is increased (decreased). The completion of a series of this kind results in another equal conspicuity contour. A complete description of the procedure is given in reference 21.

The suprathreshold technique described above was utilized to obtain equal conspicuity contours for a contrast vs. luminance function for levels of visibility above threshold levels.

* The subjects are instructed to adjust the test target until the detail (bar, alphabet, numeral, etc.) stands out from the background equally for both targets.

Dans les études décrites ci-après, les sujets devaient faire des jumelages "pas à pas" du contraste perçu à différents niveaux d'éclairement, tout comme les jumelages de luminosité pour différentes longueurs d'onde dans l'étude de Gibson et Tyndall. Plus précisément, il fallait jumeler une cible de test, de contraste variable, à une cible de comparaison identique à tous égards, si ce n'est que la luminance de la cible de test était légèrement plus (moins) forte que celle de l'objet de comparaison. Voir la figure 10. Le sujet devait faire en sorte que les deux objets présentent la même netteté, c'est-à-dire que le détail ressorte aussi bien sur le fond. On calcule la tendance centrale en prenant la médiane de cinq jumelages de netteté. Cette valeur médiane du contraste sert ensuite à comparer la cible de comparaison qui devra être jumelée avec la cible de contraste variable suivante dont la luminance a été augmentée (diminuée), afin que l'écart de luminance entre les deux cibles soit la même que précédemment. La valeur médiane du contraste obtenue avec cette nouvelle cible de test devient la cible de comparaison suivante, et ainsi de suite. Lorsque l'on établit ensuite la comparaison entre le contraste et la luminance, on obtient une série de points représentant des nettetés égales. Autrement dit, à chaque point correspond une netteté* égale à celle des autres points de la courbe, en faisant varier les niveaux de luminance.

Le sujet réalise ensuite une autre série de comparaisons, mais en partant d'un contraste de comparaison plus (moins) élevé. On obtient ainsi une autre courbe de netteté égale. Une description complète de cette méthode est donnée au renvoi 21.

La technique ci-dessus a permis de tracer des courbes de netteté égale pour une fonction luminance/contraste à des niveaux de visibilité supraliminaux.

* Les sujets devraient ajuster la cible de test jusqu'à ce que le détail (ligne, alphabet, chiffres, etc.) ressorte aussi bien sur le fond pour les deux cibles.

11.0 SUPRATHRESHOLD FUNCTIONS

Suprathreshold data have been obtained using different stimuli. Figures 11 and 12 present equal conspicuity contours obtained with sine and square wave gratings, respectively, as the stimuli[21]. The grating patterns were projected on a screen. Figure 13 represents results from an experiment using alphabets (Jaeger chart) as the stimuli[22]. The open circles in figure 14 are the results from a recently completed experiment[1] using 5-bar (see figure 15) patterns as the stimuli. We observe the monotonically decreasing function for low contrast patterns, and a reversal in the slope of the functions or a monotonically increasing function for the higher contrast levels. The filled circles are results from the grating study discussed earlier. The bars in the squarewave grating subtended 7.7 min, and 6.0 min in the 5-bar pattern. Comparison of the filled and open circle curves indiates that the open circle curves may show an abrupt increase in contrast at lower luminance levels.

All of the results indicate a significant difference between the form of the curves for low contrast as compared to high contrast targets. For low contrast patterns the equal conspicuity contours are monotonically decreasing. But with higher contrasts, the curves indicate that as luminance is increased beyond a particular luminance level, the contrast required to match a pattern increases with further increases in luminance. That is, beyond some luminance level (which we have defined as the 'optimum' level), the sensitivity of the eye to contrast (as measured by perceived conspicuity) decreases with higher luminance levels. This suggests that the sensitivity of the eye at low and high contrasts differ not only quantitatively, but also qualitatively. For threshold or near threshold contrast levels, the sensitivity of the eye increases as luminance increases, up to the limits of the

11.0 FONCTIONS AUX NIVEAUX SUPRALIMINAUX

On a recueilli les données sur les niveaux supraliminaux à l'aide de différents stimuli. Les figures 11 et 12 présentent les courbes de netteté égale obtenues avec, respectivement, des grilles d'ondes sinusoïdales et des grilles d'ondes carrées.[21] Ces images étaient projetées sur un écran. La figure 13 récapitule les résultats d'une expérience dans laquelle on a utilisé l'alphabet (tableau Jaeger) comme stimulus.[22] Dans la figure 14, les cercles vides représentent les résultats d'une expérience récemment terminée[1] dont les stimuli étaient des modèles de 5 lignes (voir figure 15). On peut voir la fonction monotone décroissante pour les modèles de faible contraste, et un renversement de l'orientation des fonctions ou une fonction monotone croissante pour les niveaux de fort contraste. Les cercles pleins sont les résultats de l'étude avec les modèles de réseaux mentionnée plus haut. Dans la grille d'ondes carrées, les barres sous-tendaient un arc de 7,7' et, dans le modèle à 5 lignes, un arc de 6,0'. Si l'on compare la courbe des cercles vides et celle des cercles pleins, on voit que la première peut illustrer une augmentation rapide du contraste à de faibles niveaux de luminance.

Tous les résultats montrent une nette différence entre la forme des courbes pour les objets de faible contraste et celle des courbes pour les forts contrastes. Les courbes de netteté égale présentent une décroissance monotone pour les modèles de faible contraste. Mais, lorsque le contraste est plus fort, les courbes indiquent que si l'on augmente la luminance au-delà d'un certain niveau, il faut augmenter le contraste pour faire correspondre le modèle pour une augmentation de la luminance. Donc, au-delà d'un certain niveau de luminance (que nous appelerons le niveau "optimal"), la sensibilité de l'oeil au contraste (mesurée par la netteté perçue) décroît en fonction de l'augmentation des niveaux de luminance. Donc, la sensibilité de l'oeil à des contrastes faibles et forts ne diffère pas seulement quantitativement mais encore qualitativement. Lorsque le contraste est au niveau liminal ou proche de

luminance levels investigated in these studies. But, for higher visibility targets, those more closely approximating everyday office tasks, the sensitivity of the eye decreases with increases in luminance beyond an optimum luminance level.

ce niveau, la sensibilité de l'oeil s'accroît au fur et à mesure que l'on augmente la luminance, mais seulement jusqu'aux niveaux étudiés ici. En revanche, pour les cibles de plus grande visibilité, plus proches en fait des tâches qui comportent chaque jour un travail de bureau, la sensibilité de l'oeil diminue en proportion de l'augmentation de la luminance, au-delà d'un niveau optimal.

The low contrast or near threshold contrast equal conspicuity contours are similar to many threshold functions. Figure 6-8 present results from threshold experiments. Figures 6 and 7 are from contrast threshold experiments involving detecting the presence of a circular target **lighter** than the background. Figure 8 presents the results of an acuity experiment, where the dependent variables were the minimum gap perceivable in a Landolt C and resolution of grating lines.

Les courbes de netteté égale avec un contraste faible ou proche du seuil ressemblent à un grand nombre de fonctions au niveau liminal. Les figures 6 à 8 présentent les résultats des expériences au niveau du seuil. Les figures 6 et 7 sont tirées d'expériences, au seuil de contraste, de détection de la présence d'un détail circulaire **plus clair** que le fond. La figure 8 donne les résultats d'une étude sur la netteté dans laquelle les variables étaient l'écartement minimal perceptible d'un "C" de Landolt et la définition des lignes d'un réseau.

Note that these curves are generally monotonic. As luminance is increased, contrast required for detection decreases (or acuity increases), monotonically. This same function appears in our near threshold contrast contours, but not when the higher contrast (visibility) contours are plotted. In popular terminology "more light leads to better sight" for near contrast threshold tasks, but for higher contrast tasks, light levels beyond an optimum lead to less "sight". These findings indicate that extrapolating data from threshold experiments to predict eye performance at suprathreshold levels is not a valid procedure. Cases can be cited from the literature where prediction of suprathreshold performance from threshold data did lead to erroneous predictions.

Ces courbes sont généralement monotones. Quand on augmente la luminance, le contraste nécessaire pour la détection diminue (ou la netteté augmente) de façon monotone. Cette même fonction apparaît dans nos courbes de contraste près du seuil, sauf lorsque l'on trace les courbes de contraste (visibilité) plus fort. La croyance populaire veut que l'augmentation de la lumière améliore la vision; cela est vrai pour les tâches effectuées près du seuil de contraste mais, pour les tâches à plus fort contraste, l'augmentation de la lumière au-delà d'un niveau optimal diminue la vision. Ces conclusions suggèrent qu'on ne peut ni ne doit déterminer les performances visuelles à des niveaux supraliminaux en se fondant sur les données recueillies à des niveaux liminaux. Plusieurs documents citent des cas où des performances supraliminales extrapolées à partir de données liminales se sont révélées fausses.

Poppel and Harvey[23] found that subjective brightness as a function of retinal eccentricity predicted from threshold data differed significantly from the empirical data obtained by experiments performed at suprathreshold levels. An example of this difference in photometry is the spectral luminous efficiency function, brightness sensitivity as a function of radiant energy evaluated wavelength by wavelength. The function describing the sensitivity of the eye to the radiant energy from different parts of the visible spectrum is different when obtained at the detection (threshold) levels[24] as opposed to the equal brightness function obtained for suprathreshold stimuli[20]. In both examples, experiments conducted at suprathreshold levels indicate the inappropriateness of predicting suprathreshold functions from threshold data.

Poppel et Harvey[23] ont découvert que la luminosité relative, en fonction de l'excentricité rétinienne, calculée à partir de données liminale est très différente de celle obtenue de façon empirique par des expériences à des niveaux supraliminaux. En photométrie, un exemple de cette différence est la fonction de l'efficacité lumineuse spectrale, soit la sensibilité à la luminosité en fonction de l'énergie rayonnante évaluée longueur d'onde par longueur d'onde. La fonction illustrant la sensibilité de l'oeil à l'énergie rayonnante, provenant de différentes sections du spectre visible, est différente quand elle est obtenue aux niveaux de détection (liminaux)[24] et lorsque la fonction de luminosité égale est obtenue avec des stimuli supraliminaux.[20] Dans les deux exemples, les expériences menées avec une visibilité supraliminale indiquent qu'il est impossible de prédire les fonctions supraliminales à partir de données obtenues au seuil.

The findings obtained in the suprathreshold studies were unexpected, but careful checking of the literature indicates that these types of visual responses have been reported even for threshold studies. Wilcox[25] investigated the resolution separation for two parallel bars 2.25 minutes wide, as a function of retinal illuminance. In figure 16, the lower curve (open circles) represents the resolution threshold for the separation of two dark bars on a lighter background. The form of the function is similar to the classical threshold functions, in that, as luminance is increased the threshold continuously decreases, but at a slower rate. But, when the resolution targets are two light bars on a dard background, the form of the threshold-luminance curves are significantly different from the "classical" curve. It is similar to that observed for the higher contrast targets in the suprathreshold experiments. The irradiation hypothesis (light scatter within the eye) postulated by Wilcox[25] may be a contributing factor for the optimum found at suprathreshold levels.

Les conclusions des études sur les niveaux supraliminaux étaient inattendues, mais une analyse attentive des écrits sur ces expériences montre que ce type de réaction visuelle avait été découvert même pour la visibilité liminale. Wilcox[25] fit des recherches sur la détection de l'écartement de deux lignes parallèles (2,25 minutes) en fonction de l'éclairement rétinien. Dans la figure 16, la courbe la plus basse (cercles vides) représente le seuil de définition pour la séparation de deux barres noires sur un fond plus clair. La forme de cette fonction est semblable à celle des fonctions classiques pour les niveaux liminaux puisque le seuil décroît continuellement, mais moins rapidement, quand on augmente la luminance. Par contre, lorsque les cibles sont deux lignes claires sur un fond sombre, la courbe seuil/luminance a une forme très différente de la courbe "classique". Elles est semblable à celle obtenue avec les objets à fort contraste dans les expériences sur les niveaux supraliminaux. L'hypotèse de l'irradiation (légère diffusion dans l'oeil) avancée par Wilcox[25] peut en effet avoir contribué à l'optimum découvert lorsque l'on dépasse le seuil.

De Palma and Lowry[26] investigated the threshold contrast required to perceive the separation between lines for the sine wave gratings. The observers were asked to decrease the contrast until the pattern disappeared. Their results are presented in figure 17. They found optimum line widths above and below which contrasts had to be increased for subjects to perceive the lines. Optimum line widths resulted from single line studies as well. Figure 18 is adapted from Fry[27]. In this study, the background luminance was kept constant at 74.3 nits (21.7 fL). The solid curve (squares) is the results for a single bright bar against a darker background and gives a monotonic function. The dashed curve (circles) represents the data from judgements of a single dark bar seen against a lighter background, and reverse itself after reaching an optimum width of about 10 minutes of visual angle.

Figure 8 presents a plot of visual acuity data against luminance for Landolt C and grating targets. In both cases, we observe the classical monotonic threshold function. Figure 19 summarizes the data in another visual acuity study using Landolt C's. In this study, Stevens and Foxell[28] used a high contrast (0.9930) test object, and instead of the classical monotonic function, found an optimum luminance level, but this optimum occurred at a high luminance level, about 2,000 cd/m*. These findings demonstrate that even at threshold performance levels, some conditions lead to decreasing visibility at higher luminances.

De Palma et Lowry[26] ont cherché à établir quel niveau de contraste était nécessaire pour percevoir la séparation entre les lignes des réseaux d'ondes sinusoïdales. On demandait à l'observateur de réduire le contraste jusqu'à ce que le détail disparaisse. Les résultats sont présentés à la figure 17. Ils ont pu établir les largeurs optimales des lignes au-dessous et au-dessus desquelles le contraste devait être augmenté pour que les sujets perçoivent ces lignes. Des études avec une seule ligne ont également permis de découvrir des largeurs optimales. La figure 18 est tirée d'un ouvrage de Fry[27]. Dans cette étude, la luminance du fond était toujours à 74,3 nits (21,7 fL). La courbe en trait plein (carrés) donne les résultats obtenus avec une seule barre claire sur un fond plus sombre; c'est une fonction monotone. La courbe en pointillé (cercles) représente les données obtenues sur l'appréciation d'une seule barre foncée sur un fond plus clair, elle s'inverse après avoir atteint une largeur optimale d'environ 10 minutes d'angle visuel.

La figure 8 présente la courbe des données sur la netteté visuelle par rapport à la luminance, pour les "C" de Landolt et les réseaux. Dans les deux cas nous voyons la fonction monotone classique pour les niveaux liminaux. Les données d'une autre étude de netteté visuelle avec des anneaux de Landolt sont récapitulées à la figure 19. Dans cette étude, Stevens et Foxell[28] ont utilisé une cible de test de fort contraste (0,9930) et, au lieu de la fonction monotone classique, ont découvert un niveau de luminance optimal qui apparaissait à un haut niveau de luminance élevé, soit environ 2 000 cd.m^2.* Ces résultats montrent que même à des niveaux liminaux de performances, certaines conditions entraînent une diminution de la visibilité à de fortes luminances.

* A study by: Stone, P.T., Clarke, A.M., and Slater, A.I., "The Effect of Task Contrast on Visual Performance and Visual Fatigue at a Constant Luminance" was called to the attention of the writer after completion of the manuscript. They found that: "(a) the visual system experiences difficulty with tasks at very low contrasts, as would be expected and also (b) that very high contrast may inhibit task performance".

* Une étude de Stone, P.T., Clarke, A.M. et Slater, A.I. intitulée "The Effect of Task Contrast on Visual Performance and Visual Fatigue at a Constant Luminance", a été portée à l'attention de l'auteur une fois ce document terminé. Cette étude montre que: "(a) le système visuel connaît certaines difficultés lorsque les tâches doivent être réalisées avec de très faibles niveaux de contraste, ce qui n'est en rien surprenant, et (b) un contraste très élevé peut réduire le rendement au travail".

Khek and Krivohlahvy[29] had their subjects determine the orientation of the gap in a Landolt C. They found that the result they obtained was dependent on the response measure used. When the performance measure was time (information transmitted per second) the performance vs. illuminance function was monotonic, i.e., as illuminance was increased performance increased. But when they plotted error as their dependent variable, their function described an optimum level of performance. Figure 20 is a general form of the relation found by Khek and Krivohlahvy between performance and task difficulty in this case as a function of illuminance. The dashed curve labeled F describes performance in terms of error rate, and the solid curve P depicts time as the dependent variable. Note the monotonically increasing function for the temporal dependent variable, and an optimum perform wavelength for the error function.

Khek et Krivohlahvy[29] ont demandé à des sujets de déterminer l'orientation de l'écartement dans un "C" de Landolt. Ils se sont rendu compte que le résultat obtenu dépendait de la mesure de la réponse utilisée. Quand la mesure des performances était le temps (information transmise par seconde) la fonction des performances en fonction de l'éclairement était monotone, c'est-à-dire que les performances augmentaient avec l'augmentation de l'éclairement. En revanche, lorsqu'ils ont utilisé l'erreur comme variable dépendante, la fonction indiquait un niveau optimal de performances. La figure 20 est une représentation générale de la relation, découverte par Khek et Krivohlahvy, entre les performances et la difficulté de la tâche, dans ce cas en fonction de l'éclairement. La courbe en pointillé, appelée F, représente les performances en termes de fréquence d'erreur, tandis que la courbe en trait plein P illustre le temps en tant que variable dépendante. On peut voir la fonction monotone croissante pour la variable temporelle dépendante et un niveau optimal de performances pour la fonction des erreurs.

The results obtained by Khek et al.[29] for prolonged visual activity (100 minutes of continuous reading of Landolt C's for every experimental conditon) indicate a trend similar to that found in the NBS studies[21,22]. The results are presented in figure 21 where percent errors are plotted against illuminance. The parameters for the different functions are combinations of contrast and visual angle. The top function with the largest percent errors is for a Landolt C with a contrast of 0.78 with the gap in the C subtending 1' of visual angle. The curve with the second largest percent error is a less "difficult" task in that the contrasts are the same, but now the gap in the C has been increased to 2', making it a less difficult task. The next curve also has a 2' gap, but the contrast has been increased to 0.98. The curve with the least number of errors is that for the least difficult of the four conditions, 0.98 contrast with a 3' minute gap. Of greater interest in the context of the present paper is the trend indicated as illuminance is increased. The

Les résultats obtenus par Khek et ses collègues[29] pour une activité visuelle prolongée (100 minutes d'observation initerrompue des "C" de Landolt pour chaque phase de l'expérience) présentent une tendance similaire à celle découverte par les études du NBS.[21,22]. La figure 21 illustre ces résultats, le poucentage d'erreur étant en fonction du niveau d'éclairement. Pour les différentes fonctions, les paramètres sont une combinaison de niveau de contraste et d'angle visuel. La fonction la plus hautre, représentant la plus grande fréquence d'erreur, est obtenue avec un "C" de Landolt dont le contraste est de 0,78 et dont l'écartement sous-tend un angle visuel de 1'. La courbe représentant le deuxième poucentage d'erreur par ordre décroissant correspond à une "tâche" moins difficile puisque, si les contrastes sont les mêmes, l'écartement a été augmenté à 2'. La courbe suivante a été obtenue avec le même écartement mais avec un contraste accru à 0,98. La courbe du moins grand pourcentage d'erreur correspond à la moins difficile des

two easiest conditions indicate increases in number of errors at the highest illuminances, whereas the two more difficult tasks resemble the classical threshold functions. The percent error increases at higher illuminances is not strong (2-3 percent). It is possible that a more senitive test of this phenomenon might clarify this finding -- i.e., one that more directly tests the visual sensitivity of the eye (e.g., the equal conspicuity contours methodology used in the NBS studies).

We will conclude the discussion by citing several suprathreshold studies where gratings were used as stimulus objects. Unfortunately, the researcher performing these investigations were not primarily interested in luminance levels and limited their investigations to suprathreshold responses at low luminance levels. Bryngdahl[30] investigated subjective contrast of gratings at suprathreshold levels, but his range of luminances was limited, 5 to 20 cd/m^2 (1.5 - 5.8 fL). Kulikowski[31] in his contrast constancy experiments worked at low luminance levels, 0.1 to 1.0 cd/m^2 (0.03 - 0.3. fL). Watanabe et al.[32] had subjects make equality of contrast judgments for grating at mean luminances of 17 - 171 cd/m (5 - 50 fL) for many spatial frequencies, but only at a single low contrast level, 0.032.

Georgeson and Sullivan[33] report the importance of the distinction between apparent contrast and visibility. In the NBS studies, subjects were asked to vary the contrast until the details appeared to stand out from the background equally for both targets. In the Georgeson study,

quatres situations, soit un contraste de 0,98 et un écartement de 3'. Ce qui nous intéresse plus particulièrement ici est la tendance suivie lorsqu'on augmente l'éclairement. Dans les deux situations les plus faciles, le nombre d'erreurs augmente lorsque l'éclairement est plus fort, alors que l'on obtient des fonctions du type classique pour les niveaux de seuil avec les deux tâches les plus difficiles. L'augmentation du pourcentage d'erreur aux niveaux élevés d'éclairement n'est pas forte (2 à 3 pour cent). Il est possible qu'une expérience plus poussée éclaircisse ce phénomène, c'est-à-dire en testant plus directement la sensibilité visuelle de l'oeil (ex. avec la méthode de netteté égale utilisée dans les études du NBS).

Nous conclurons en citant plusieurs études sur les niveaux supraliminaux avec utilisation de réseaux comme stimulus. Malheureusement, les chercheurs ayant réalisé ces études ne s'intéressaient pas en premier lieu au niveaux de luminance et ont limité leurs travaux aux réactions supraliminales à de faibles niveaux de luminance. Bryngdahl[30] a étudié le contraste subjectif de réseaux à des niveaux supraliminaux, mais sa gamme de luminance était limitée, soit 5 à 20 cd.m^2 (1,5 à 5,8 fL). Dans ses expériences sur la constante du contraste, Kulikowski[31] a travaillé sur de faibles niveaux de luminance allant de 0,1 à 1,0 cd.m^2 (0,03 à 0,3 fL). Watanabe et ses collègues[32] demandaient aux sujets de juger l'égalité du contraste sur des réseaux, à des luminances moyennes de 17 à 171 cd.m^2 (5 à 50 fL) et pour un grand nombre de fréquences spatiales, mais avec un seul bas niveau de contraste, soit 0,032.

Georgeson et Sullivan[33] soulignent l'importance de distinguer le contraste apparent de la visibilité. Dans les études du NBS, les sujets devaient faire varier le contraste jusqu'à ce que les détails semblent ressortir autant sur le fond pour les deux cibles. Dans l'étude de Georgeson,

The observer's task was to adjust the variable until it matched the standard in apparent contrast. We were careful to stress the significance of the term contrast. Observers made judgments by **comparing the brightness differences** within each pattern. Over a wide variety of experimental conditions most observers found this reasonably easy to do; the judgment accorded with what is commonly understood by contrast. A particular concern was that the observers should **not** be misled into matching the patterns according to some impression of 'visibility'. As our results will show, it is often the case that when the subjective contrast of two patterns match, one pattern may be very much **easier to see** than the other. It was made clear to observers that they were not to be worried by this paradox and were only to pay attention to contrast.

L'observateur devait ajuster la variable jusqu'à ce qu'elle ait un contraste apparamment identique à celui de la cible témoin. Nous avons pris soin de bien expliquer ce que nous entendions par contraste. Les observateurs devaient juger en **comparant les différences de luminosité** dans chaque modèle. Après un grand nombre d'expériences, la majorité des observateurs estimèrent que c'était relativement facile à faire; l'évaluation correspondait à ce que l'on entend généralement par contraste. Il était très important que les observateurs **ne** fassent **pas** correspondre les modèles selon une impression de "visibilité". Comme nos résultats le montrent, il arrive souvent que, lorsque le contraste subjectif de deux modèles est équivalent, un des modèles soit beaucoup plus **facile à voir** que l'autre. On demanda aux observateurs de ne pas se soucier de ce paradoxe et de s'attacher uniquement au contraste.

Georgeson's observations[33] indicate that the NBS contours should be labelled 'equal conspisuity contours' and not equate apparent contrast and conspicuity. The interest is equality of visibility, how well the detail stands out from the background.

Les observations de Georgeson[33] suggèrent d'appeler les courbes du NBS "courbes de netteté égale" et non contraste et netteté apparents égaux. Ce que l'on veut c'est obtenir un niveau de visibilité égal, une bonne définition du détail sur le fond.

12.0 STANDARDS FOR LIGHTING

Should standards for lighting level recommendations be based on "How well we see", "What we see", "What we like to see", or "What we think we see"? How well we see, is a measure describing the goodness of the task in terms of being able to perceive details. On the other hand, how well we think we see, or what we (think) we see, include impressions resulting from interpretations.

Standards must satisfy the performance requirements for a building. The performance requirements, in terms of function and human occupancy, require the successful performance of the activities specified for that space while also satisfying the habitability criterion. In any space where visual task performance is an integral function of the space, the ability to see the task without difficulty is the fundamental requirement of any lighting criteria. The habitability criterion is met when the environment is said to be **acceptable**. It is not necessary that lighting standards include criteria that maximize comfort and satisfaction. These preferences may be highly individualistic and therefore difficult, if not impossible, to satisfy in a general way. The lighting criteria fulfill the performance requirements when the above conditions are met.

But, lighting can contribute more to the environment than enabling the occupant to see the task with ease. Moods and impressions may be created by the lighting system. These evaluations of the physical environment result in significantly different interpretations between individual or different socioeconomic, age, ethnic, etc., segments of the population although there are lighting effects that appear to have universal effects, e.g., phototropism, the attraction of people toward light. These evaluations of the environment should not be mandated as performance requirements. Instead, they should be considered in the design of a space if obtaining specific moods and impressions is an important function of the space.

12.0 NORMES D'ÉCLAIRAGE

Les normes à recommander pour les niveaux d'éclairage devraient-elles être établies à partir du "degré de perception visuelle", de "ce que nous voyons", de "ce que nous aimons voir" ou de "ce que nous pensons voir"? Le degré de perception visuelle indique dans quelle mesure nous pouvons distinguer les détails d'une tâche. D'autre part, la façon dont nous avons l'impression de voir ou ce que nous pensons voir sont des mesures subjectives résultant d'interprétation.

Les normes doivent permettre d'atteindre les critères de rendement fixés pour un bâtiment. Ces critères, en terme de fonction et d'habitation, doivent conduire à la réalisation des tâches prévues pour cet espace et répondre au concept d'habitabilité. Lorsque la réalisation d'une tâche est une fonction intégrante d'un espace, quel qu'il soit, la capacité de voir la tâche sans difficulté doit être l'exigence fondamentale pour l'établissement des normes d'éclairage. Le critère d'habitabilité est respecté lorsque l'environnement est considéré comme **acceptable**. Les normes d'éclairage n'ont pas à se fonder sur des critères maximisant le confort et la satisfaction. Ces préférences peuvent être très individuelles et donc difficiles, voire impossibles, à satisfaire pour tout le monde. Les normes d'éclairage répondent aux critères de rendement lorsque ces conditions sont remplies.

Toutefois, l'éclairage peut créer un environnement ayant d'autres qualités que de simplement permettre une vision facile de la tâche. L'installation peut favoriser certaines humeurs et créer des impressions. Cette appréciation de l'environnement peut donner lieu à des interprétations très différentes selon la personne, le groupe socio-économique, l'âge, l'appartenance ethnique, etc., même si certains effets de l'éclairage semblent universels, tels le phototropisme, l'attirance des gens vers la lumière. L'évaluation subjective de l'environnement ne devrait pas entrer dans les critères de rendement. Cette mesure devrait plutôt être prise en considération dans la conception d'un espace s'il est important de créer certaines impressions et de susciter certaines humeurs.

In short, should standards for lighting levels be based on psychological, perceptual or sensory factors or should all three be considered? The preceding discussions indicate that the standards should be based on responses that are primarily dependent on physiological processes which minimize variability among observers. The visibility of a visual task can be described and quantified by psychophysical experiments. In logical terms, visual capacity information is **necessary and sufficient** for recommending levels of illumination for visual task performance. But when we consider recommending criteria which define **desirable** building performance rather than required performance, visual sensory considerations are **necessary** but not **sufficient.**

We should therefore have standardized light levels required to **see,** and may modify this level to include impressions leading to a more comfortable visual environment. But in doing so, we must realize that we are including subjective factors not to improve our ability to see, but to create an environment we like for considerations other than a direct assessment of optimum seeing. We should not conclude that higher (lower) light levels result in improved seeing, because they are the preferred levels. If the increases in preference cannot be shown to be due to improved "seeability", we should attribute it to another cause. If the other cause is not known, we should say so.

Plus simplement, les normes d'éclairage devraient-elles être définies à partir de facteurs psychologiques, perceptifs ou sensoriels, ou encore à partir de ces trois facteurs? L'analyse qui précède a montré que les normes devraient se fonder sur des réactions dépendant en premier lieu de processus physiologiques, car ceux-ci sont moins variables d'un observateur à l'autre. On peut, à l'aide d'expériences psychophysiques, décrire et mesurer la visibilité d'une tâche. Donc, les données sur la capacité visuelle sont **nécessaires et suffisantes** pour recommander des niveaux d'éclairement de tâches visuelles. Mais si les critères à recommander définissent le rendement **souhaité** pour le bâtiment et non plus le rendement nécessaire, la prise en considération de facteurs sensoriels est **nécessaire mais non suffisante.**

En définitive, nous devrions établir les normes d'éclairage nécessaires pour **voir,** et modifier ces niveaux pour créer des impressions rendant plus agréable l'environnement visuel. Mais nous devons bien comprendre qu'en agissant ainsi nous introduisons des facteurs subjectifs non pour améliorer notre capacité de voir mais pour composer un environnement que nous aimons pour des raisons autres que la simple obtention d'un niveau optimal de vision. Nous ne devons pas conclure que des niveaux plus (moins) élevés d'éclairage améliorent la visibilité parce que ce sont les niveaux préférés. Si on ne peut établir que cette préférence est due à une meilleure "vision", nous devons l'attribuer à une autre cause. Et si nous ne pouvons déterminer quelle est cette autre cause, nous devons le dire.

13.0 CONCLUSIONS

Lighting contributes more to the environment than the ability to see. These other contributions play a role in user satisfaction and work performance. They should be considered in the design of a space, but not serve as a basis for required light levels for visual task performance. These design considerations are generally used to create atmosphere and influence moods that are highly specific to the type of activity and population group.

Recommended light levels for commercial tasks should be based on laboratory studies of suprathreshold visibility. Lighting levels based on laboratory threshold performance are valid for detection type applications, like aircraft signalling lights or blips on a cathode-ray scope. (Assuming that more effective ways of improving the visibility of the task, i.e., increasing size or improving contrast, are not practical.) But for most real-world commercial tasks, the lighting conditions required are those that lead to **ease of seeing**, rather than the rare case of enabling people to barely see visual tasks.

The yardstick for visibility should be conspicuity or ease of seeing. Different levels of task visibility are encountered in the real world. Much work has been done on threshold type tasks, and data for the visual sensitivity function at thresholds are readily available. But, data for suprathreshold levels of seeing are limited even though most tasks, especially those encountered in offices, are at suprathreshold levels. Therefore, conspicuity studies for suprathreshold levels of seeing should be the basis for recommending light levels for most real-world tasks.

13.0 CONCLUSIONS

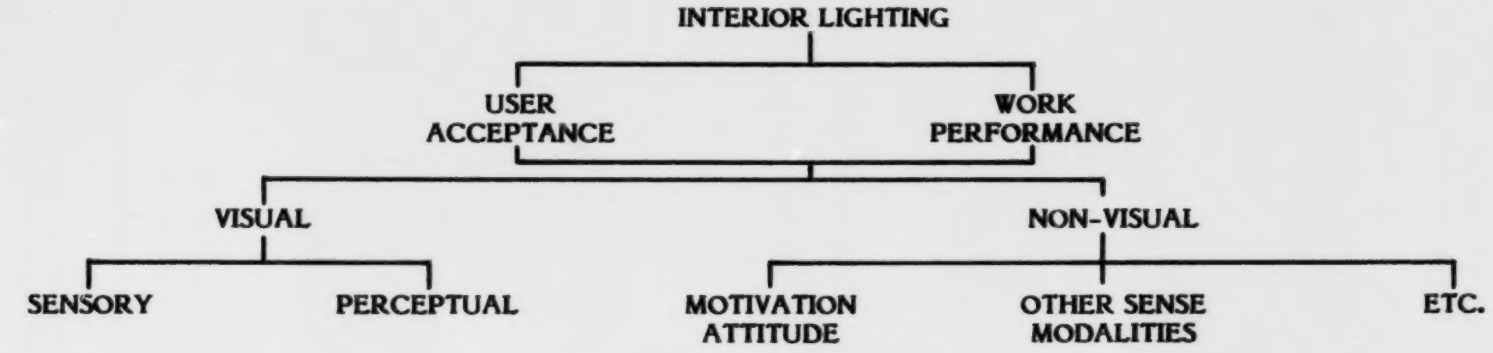
L'éclairage a plus d'effets sur l'environnement que sur la perception visuelle. Ces autres considérations sont importantes pour la satisfaction de l'utilisateur et le rendement au travail; elles doivent donc être prises en considération dans la conception d'un espace mais ne pas servir de base à l'établissement des niveaux d'éclairage pour l'obtention d'un certain rendement. La conception permet généralement de créer une ambiance et de susciter certaines humeurs mais cela est limité à une activité précise et une population déterminée.

La recommandation de niveaux d'éclairage pour des tâches commerciales devrait être faite à partir d'études expérimentales sur la visibilité aux niveaux supraliminaux. La fixation de niveaux d'éclairage en se fondant sur des études de rendement au seuil de visibilité n'est valable que pour la détection, comme dans le cas des voyants de signalisation d'un avion ou des points lumineux sur un oscilloscope à rayons cathodiques. (En supposant qu'il n'est pas possible d'améliorer la visibilité de la tâche par des moyens plus efficaces comme l'augmentation de la taille ou du contraste). Mais la majorité des tâches commerciales ordinaires, l'éclairage nécessaire est celui qui permet de **bien voir** et non, comme c'est rarement le cas, de distinguer à peine les tâches visuelles.

L'élément primordial de la visibilité est la netteté, la facilité de voir. Dans la pratique, les tâches sont effectuées à différents niveaux de visibilité. De nombreuses études on été menées sur les tâches réalisées à un niveau liminal et l'on peut facilement se procurer des données sur la fonction de la sensibilité visuelle liminale. En revanche, il existe peu d'informations sur les niveaux supraliminaux, même si c'est avec un éclairage de ce type que sont effectuées la plupart des tâches, surtout dans les bureaux. Donc, la recommandation de niveaux d'éclairage pour de vraies tâches devrait se faire à partir d'études de netteté à des niveaux supraliminaux de visibilité.

A further observation of the findings in this report, is that for task visibility above 100 per cent detection performance, high luminance levels result in loss of visual sensitivity. This outcome should lead to a reconsideration of the slogan: "More light, better sight". The use of this motto may result in less efficient and effective use of lighting energy in the following way. Set the illuminance level for the work location to satisfy the illuminance requirement for the most difficult task. That this level will be the optimum illuminance level follows from the rationale that, if we have adequate lighting for the most difficult task (that requiring the highest light level) the other higher visibility or conspicuity tasks will only be enhanced in visibility, since more light equals better sight. But the present paper demonstrated the existence of an optimum luminance level for suprathreshold tasks. This indicates that with high lighting levels we may have losses in visibility for the higher contrast tasks, which may also be the tasks most frequently encountered at that work location. Setting light levels higher than necessary for an infrequently encountered difficult task is therefore not only wasteful of energy, but can lead to visibility losses for other more frequently encountered tasks. Overdesign in lighting to assure meeting specifications may not be accomplishing the desired end: good lighting for visual task performance.

Ce rapport a également permis d'établir que, lorsque la visibilité est supérieure au niveau donnant une performance visuelle de 100 pour cent, l'augmentation des niveaux de luminance entraîne une baisse de la sensibilité. Ceci va à l'encontre de la croyance populaire qui veut que la vision s'améliore proportionnellement à la quantité de lumière. Cette croyance erronée peut d'ailleurs conduire à une utilisation moins efficace et rationnelle de l'énergie d'éclairage, comme nous allons le démontrer. On fixe le niveau d'éclairement d'un lieu de travail de façon à ce que l'éclairage soit assez fort pour la tâche la plus difficile. On pense que ce niveau est le niveau optimal puisque, si la tâche la plus difficile (celle qui nécessite le plus haut niveau d'éclairement) est suffisamment éclairée, les autres tâches ne seront que plus faciles à réaliser puisque l'éclairage améliore la visibilité. Mais le présent document démontre qu'il existe un niveau optimal de luminance pour les tâches effectuées à une visibilité supraliminale. Donc, les hauts niveaux d'éclairage peuvent réduire la visibilité des tâches de fort contraste, lesquelles sont peut-être les plus courantes dans ce lieu de travail. L'établissement de l'éclairage à un niveau plus élevé que nécessaire pour une tâche difficile mais peu fréquente ne représente pas seulement un gaspillage d'énergie mais peut également réduire la visibilité pour d'autres tâches plus fréquentes. Concevoir un éclairage trop fort pour s'assurer de satisfaire les exigences établies peut aller à l'encontre de l'objectif recherché: un bon éclairage pour un bon rendement sur les tâches visuelles.



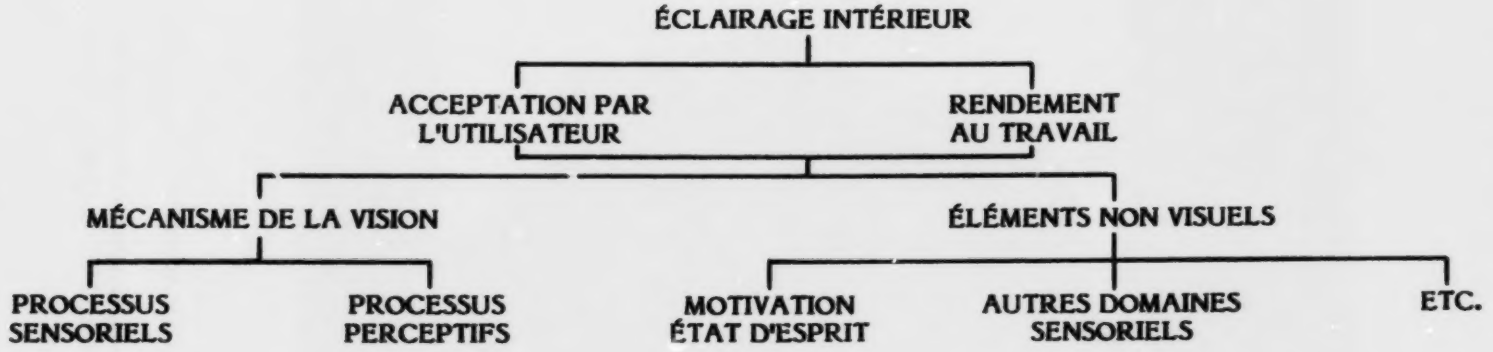


Diagram 1. Components needed in the assessment of the visual environment.

Schéma 1. Éléments nécessaires à l'évaluation d'un environnement visuel.

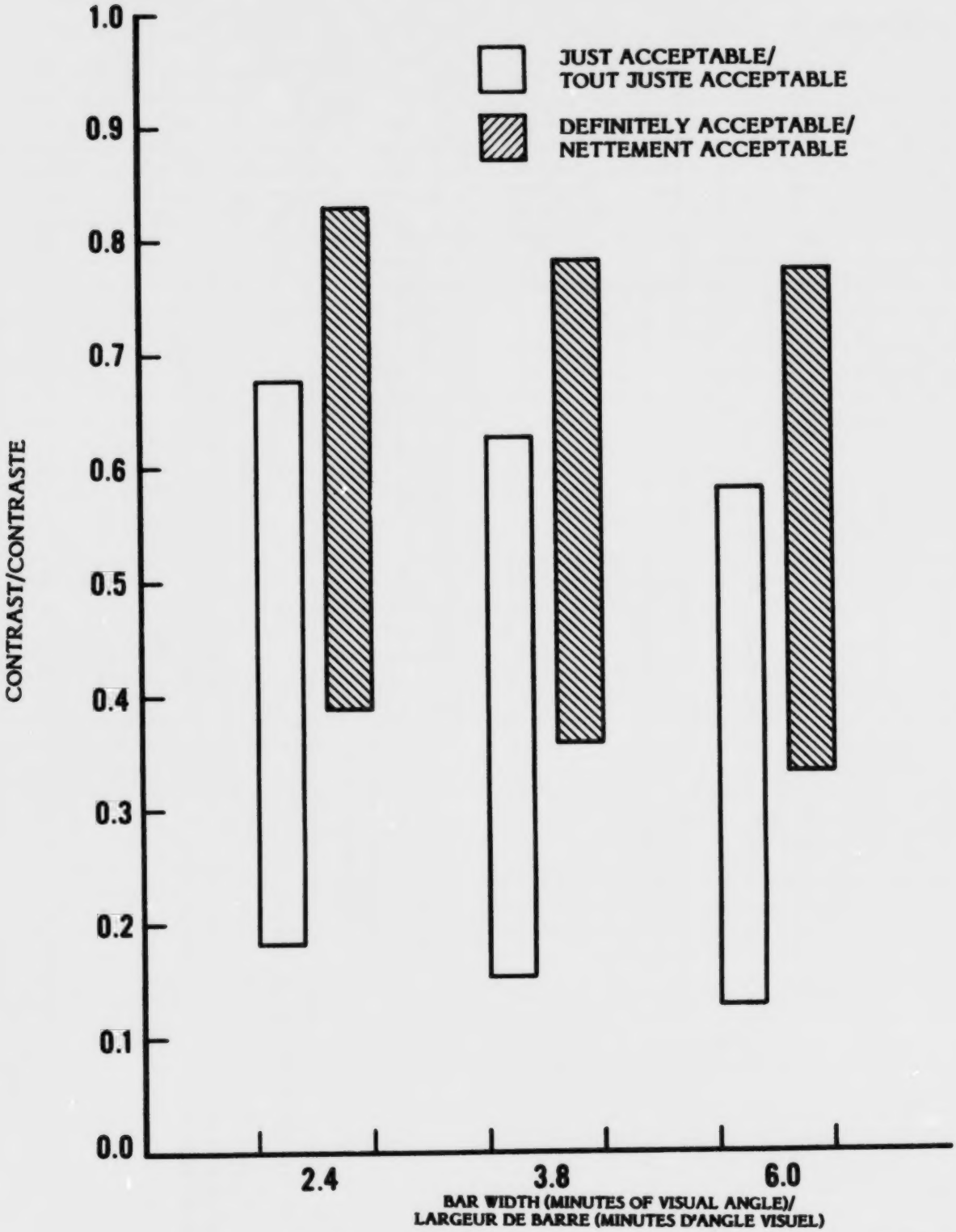


Figure 1. Ranges of contrast judged "just acceptable" and "definitely acceptable" for sustained reading. Five-bar grating pattern stimuli at luminance of 700 cd/m^2.

Figure 1. Gammes de contrastes jugés "tout juste acceptables" et "nettement acceptable" pour une lecture soutenue. Stimulus: modèle de grille à cinq lignes avec une luminance de 700 cd/m^2.

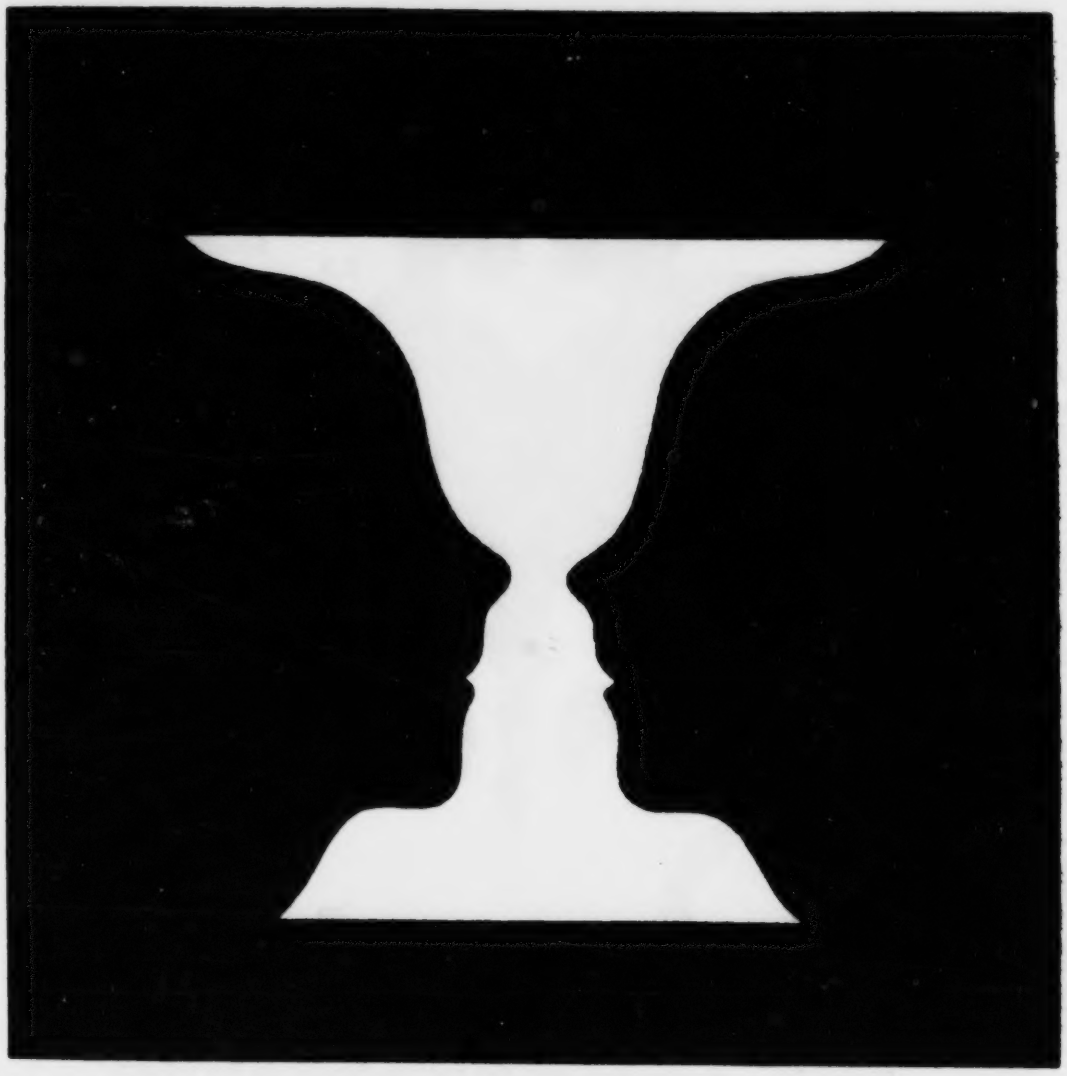


Figure 2. Reversible figures. You see a vase (white figure on a black background) or two faces (black figures on a white background).

Figure 2. Formes réversibles. On peut voir un vaste (forme blanche sur fond noir) ou deux visages de profil (formes noires sur fond blanc).

Figure 3. Example of Rorschach standard ink blot test.

Figure 3. Exemple du test des taches d'encre de Rorschach.

Figure 4. Stimuli used in threshold experiments: A) disc; B) single line; C) two parallel lines, minimum separable; D) Landolt C, minimum gap and E) grating pattern.

Figure 4. Stimuli utilisés pour les expériences de seuil: A) disque; B) une seule ligne; C) deux lignes parallèles, séparation minimale; D) "C" de Landolt, écartement minimal et E) modèle de grille.

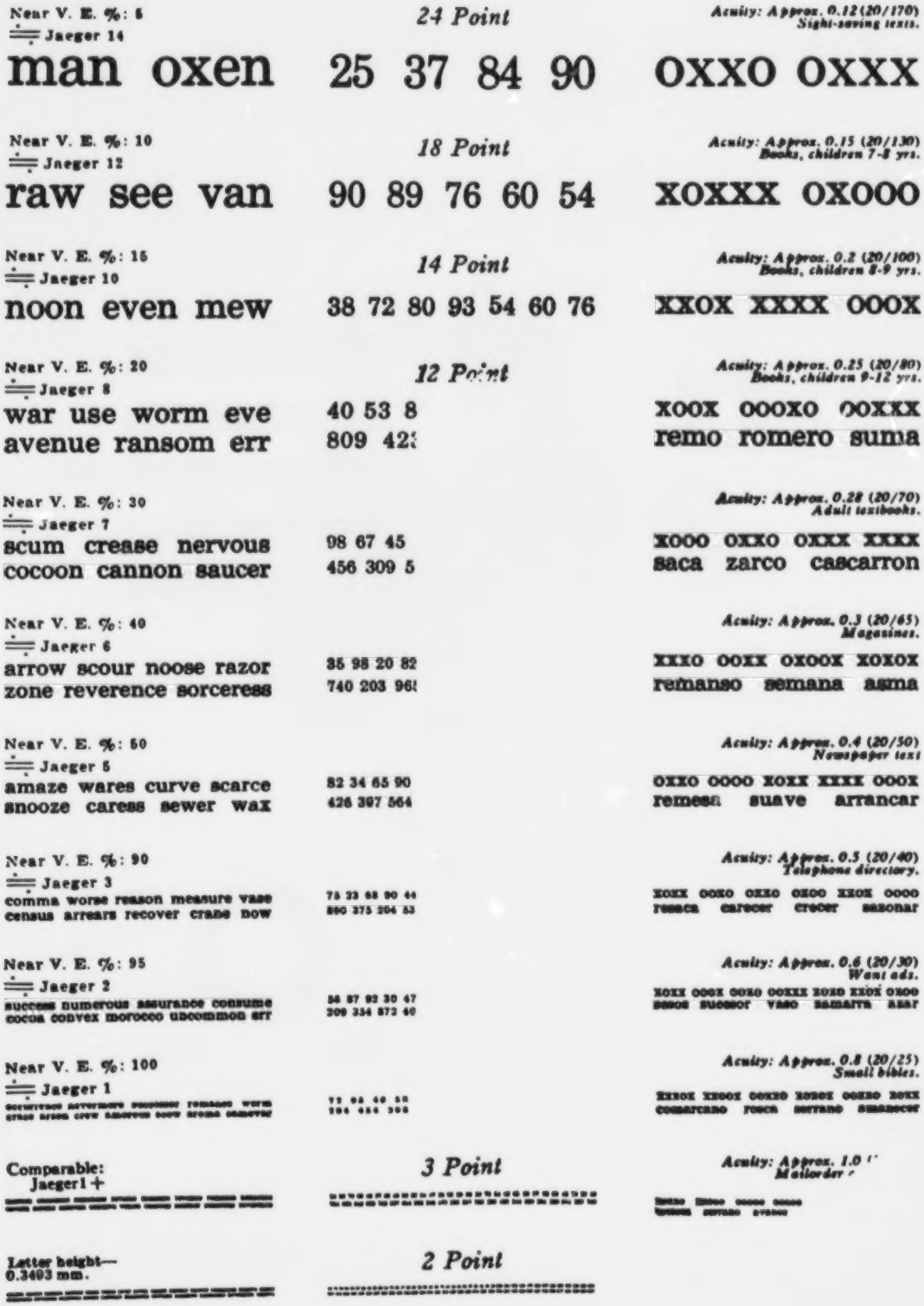


Figure 5. Jaeger Chart.
Figure 5. Tableau de Jaeger.

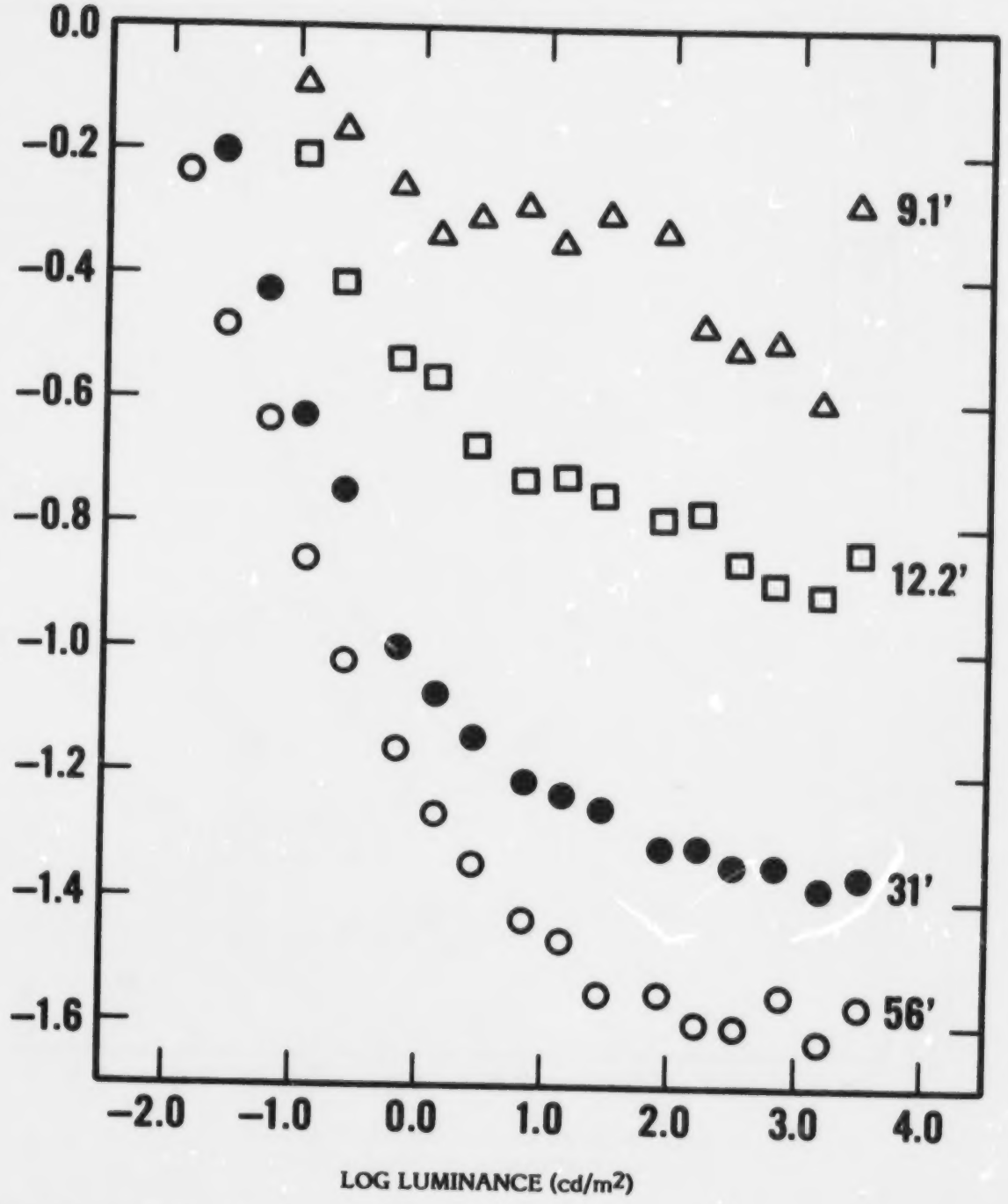


Figure 6. Luminance contrast threshold as a function of background luminance for disc diameters subtending 9.1, 12.2, 31 and 56 min. of arc. Adapted from Steinhardt[34].

Figure 6. Seuil de contraste de luminance en fonction de la luminance de fond pour des diques de diamètre sous-tendant 9,1', 12,2', 31' et 56' d'arc. Adapté de Steinhardt[34].

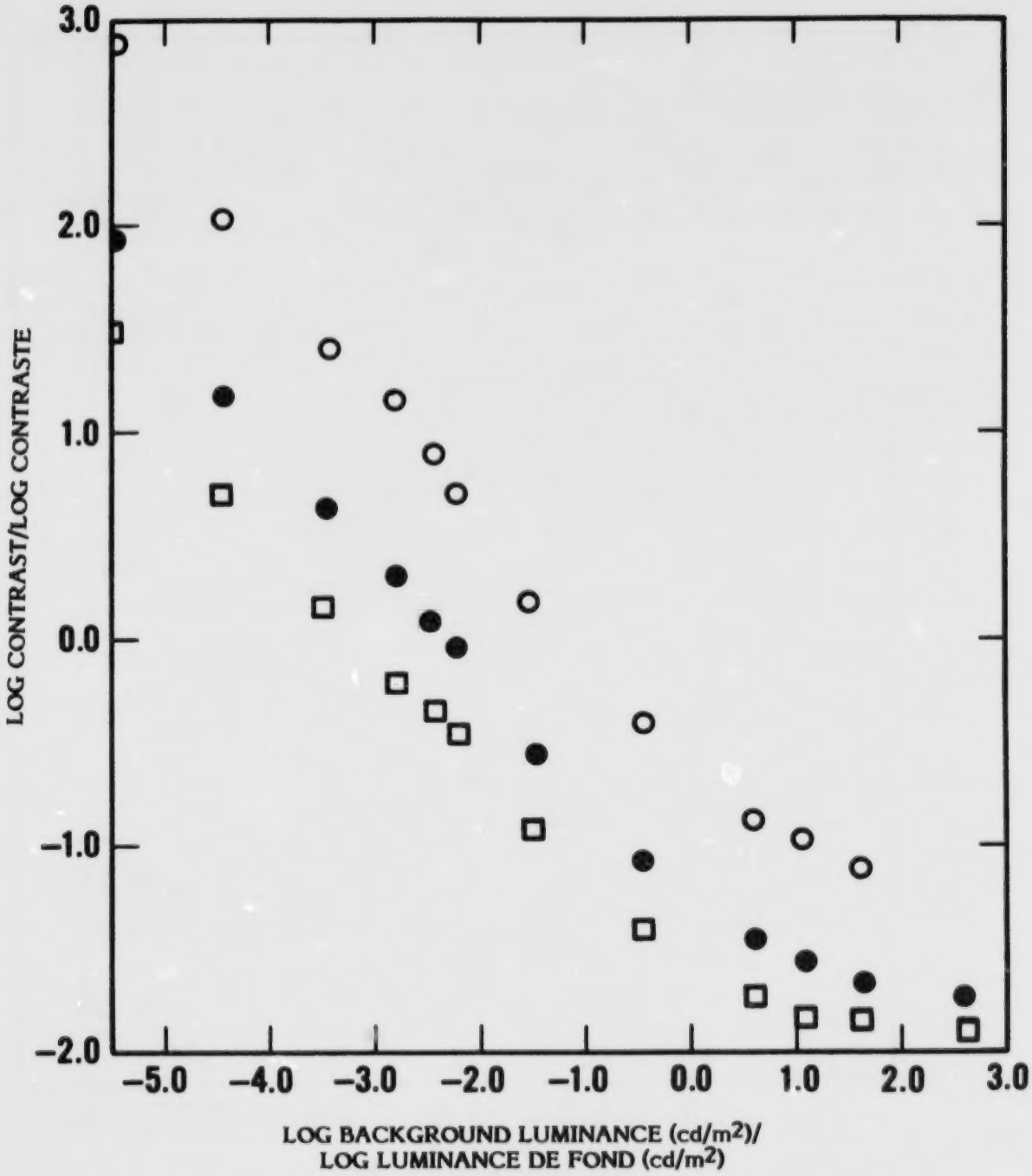


Figure 7. Luminance contrast threshold as a function of background luminance. Disc test stimuli with diameters: open circles = 3.6', filled circles 9.68' and open squares 18.2'. Adapted from Blackwell[35].

Figure 7. Seuil de contraste de luminance en fonction de la luminance de fond. Stimuli: disques dont le diamètre est de 3,6' (cercles vides), 9,68' (cercles pleins) et 18,2' (carrés vides). Adapté de Blackwell[35].

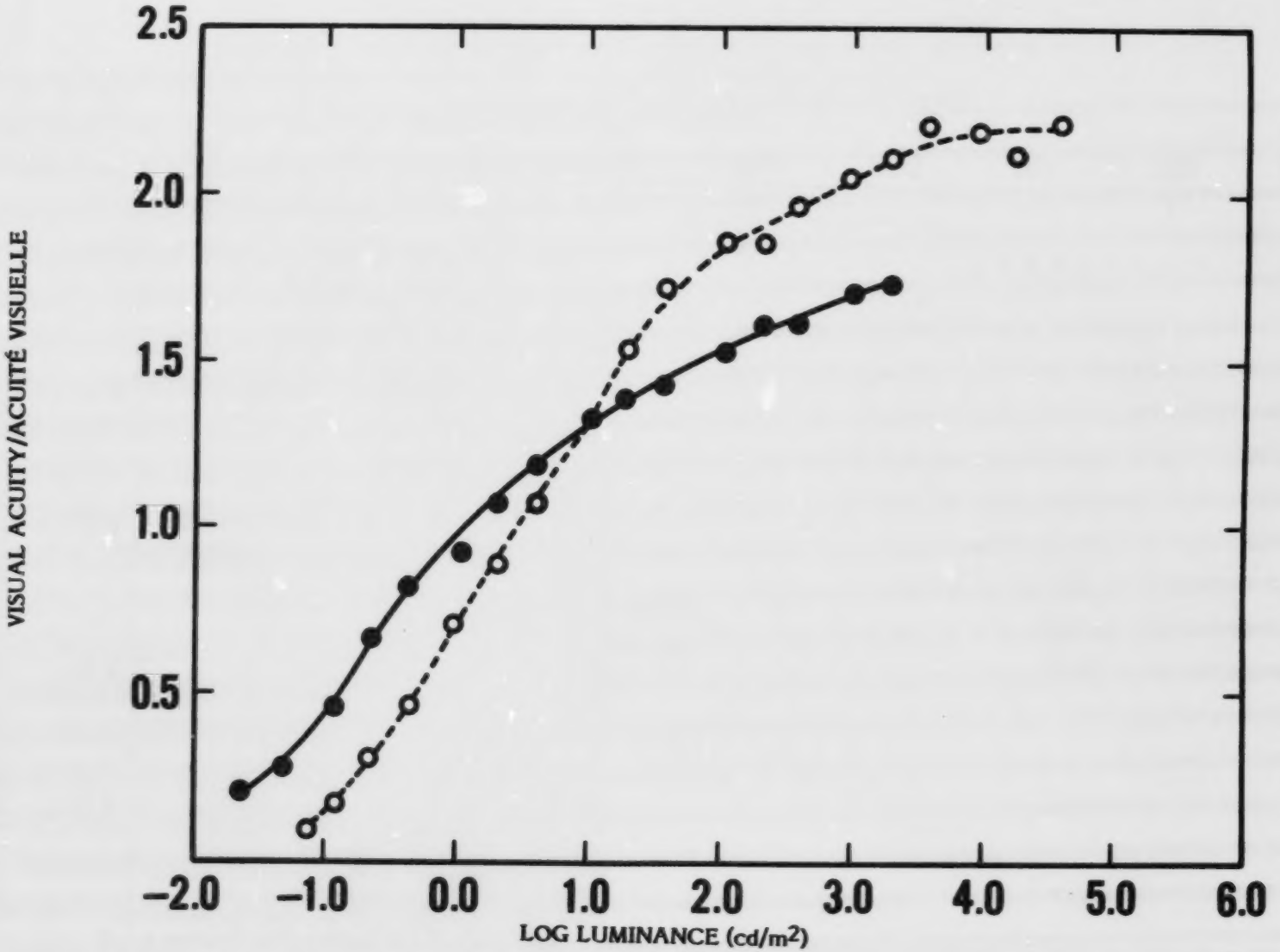


Figure 8. Visual acuity as a function of luminance. Open circles are for a Landolt C anf illed circles for grating pattern test stimuli. Adapted from Shlaer[36].

Figure 8. Acuité visuelle en fonction de la luminance. Stimuli: "C" de Landolt (cercles vides) et modèle de grille (cercles pleins). Adapté de Shlaer[36].

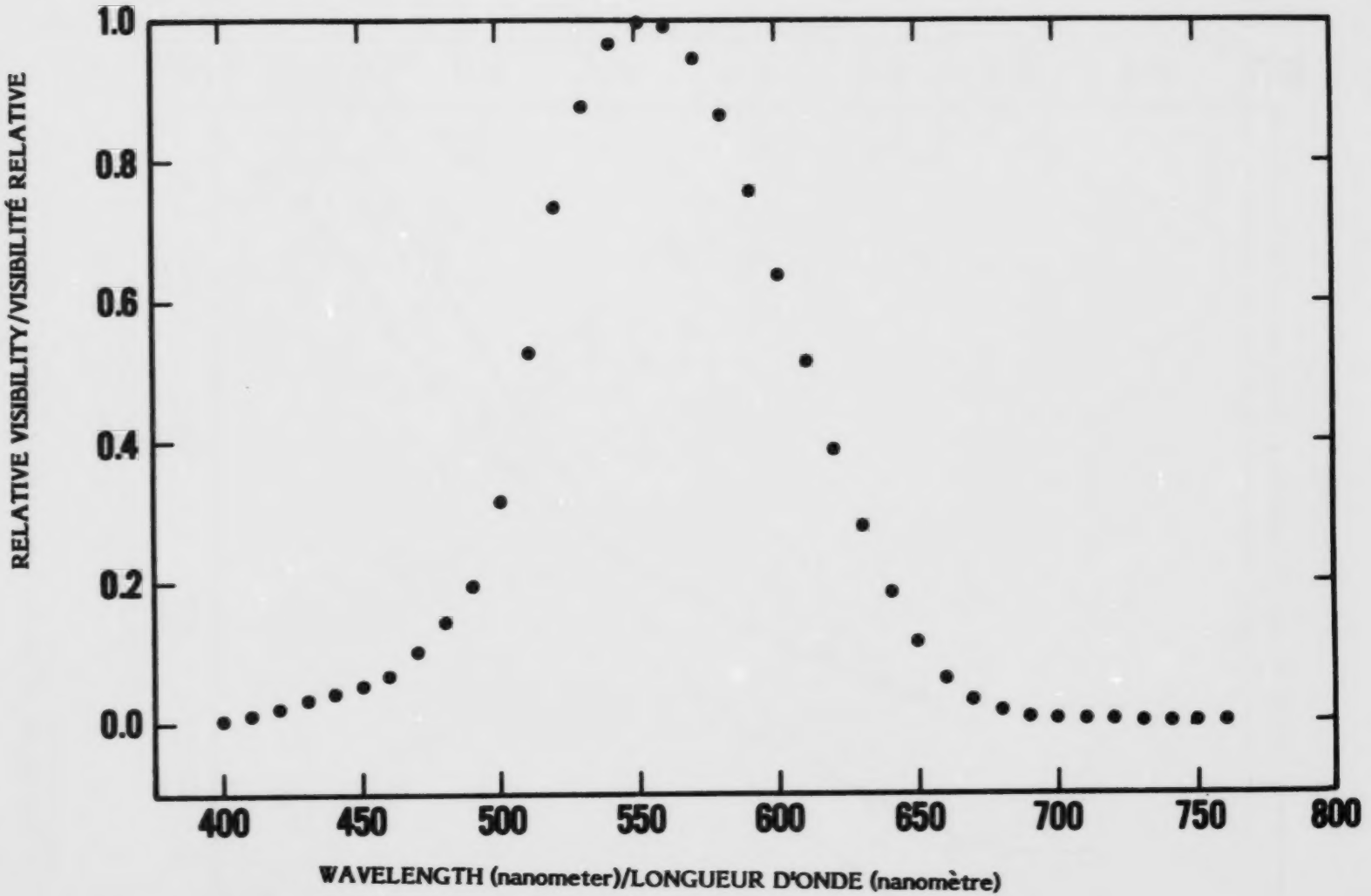


Figure 9. Relative visibility as a function of wavelength, evaluated at suprathreshold levels. Adapted from Gibson and Tyndall[20].

Figure 9. Visibilité relative en fonction de la longueur d'onde, à des niveaux

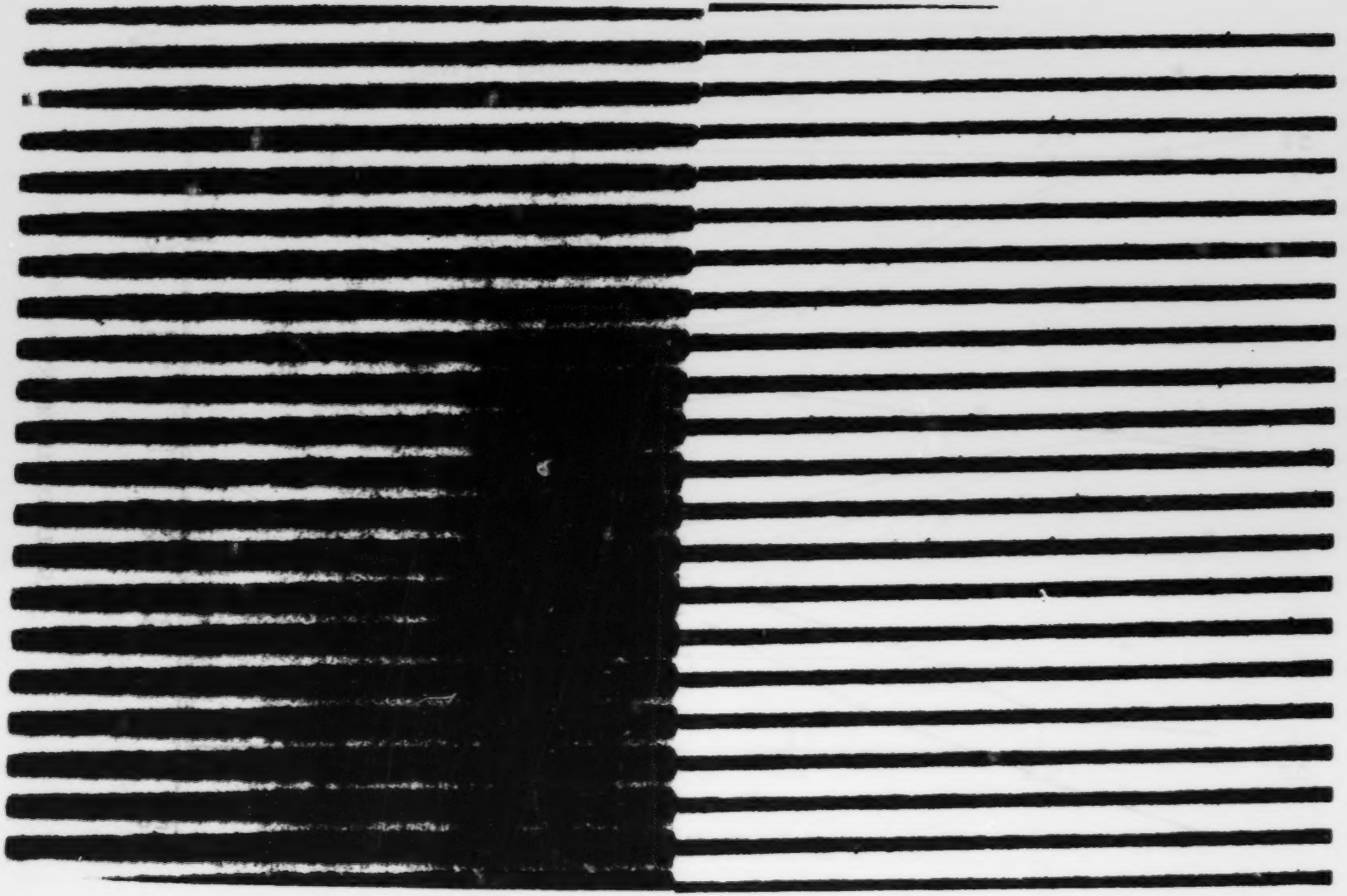


Figure 10. Test stimuli (sinusoidal gratings) used in equal clarity experiments.

Figure 10. Stimuli (grilles sinusoïdales) utilisés dans les expériences de clarté égale.

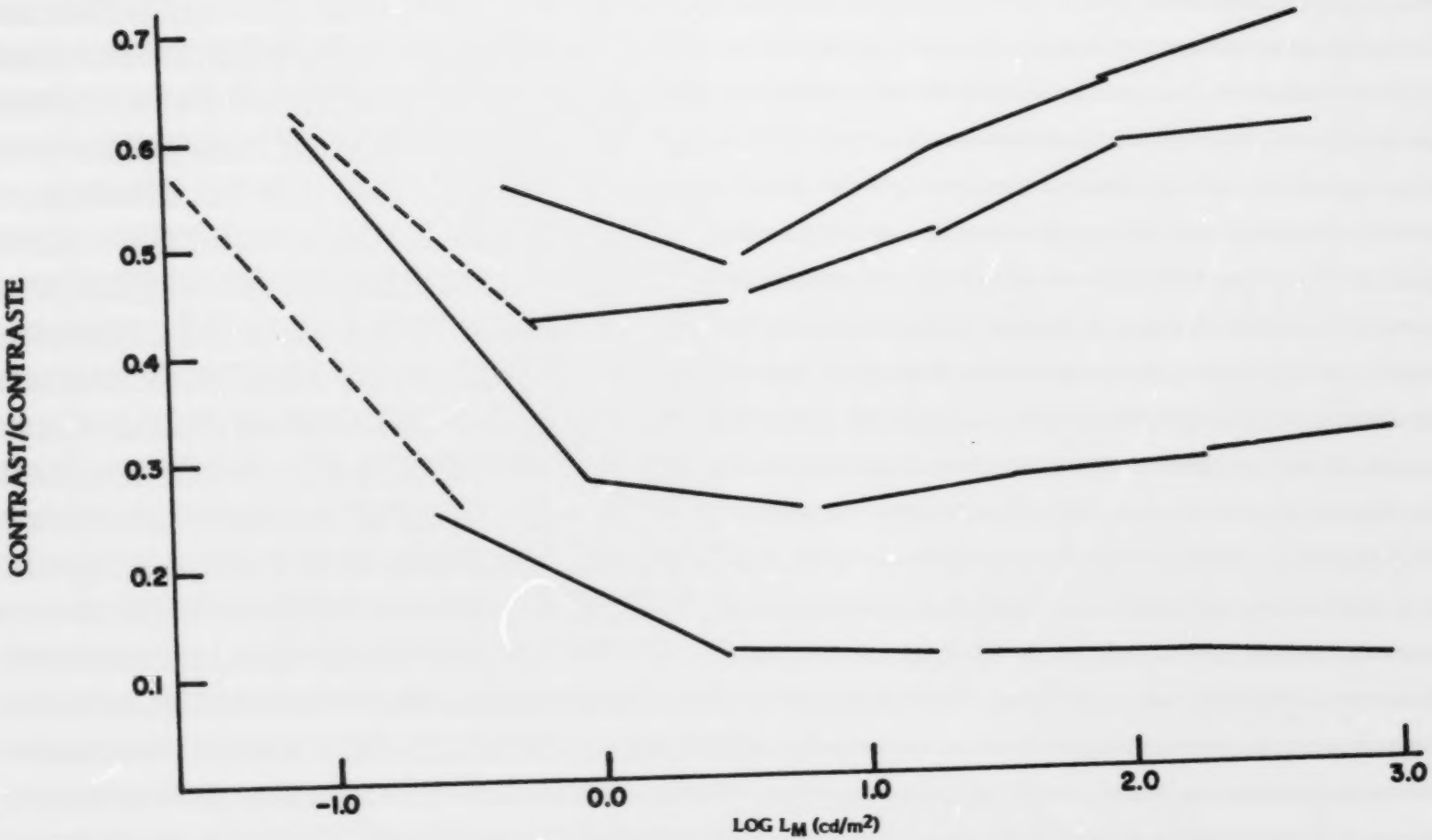


Figure 11. Equal conspicuity contours as a function of mean spatial luminance (L_m) for a 3.9 cyc/deg square wave grating[21]. The dashed lines represent contrast values which "almost" gave equal conspicuity matches, but was limited by the maximum contrast obtainable with the apparatus for the given conditions.

Figure 11. Contours de netteté égale en fonction de la luminance spatiale moyenne (L_m) pour une grille d'ondes carrées de 3,9 cycles/degré[21]. Les lignes en pointillé représentent les valeurs du contraste qui donnèrent "presque" des jumelages de netteté égale; ces valeurs ont été limitées par le contraste maximal que l'on pouvait créer avec l'appareil utilisé, dans les

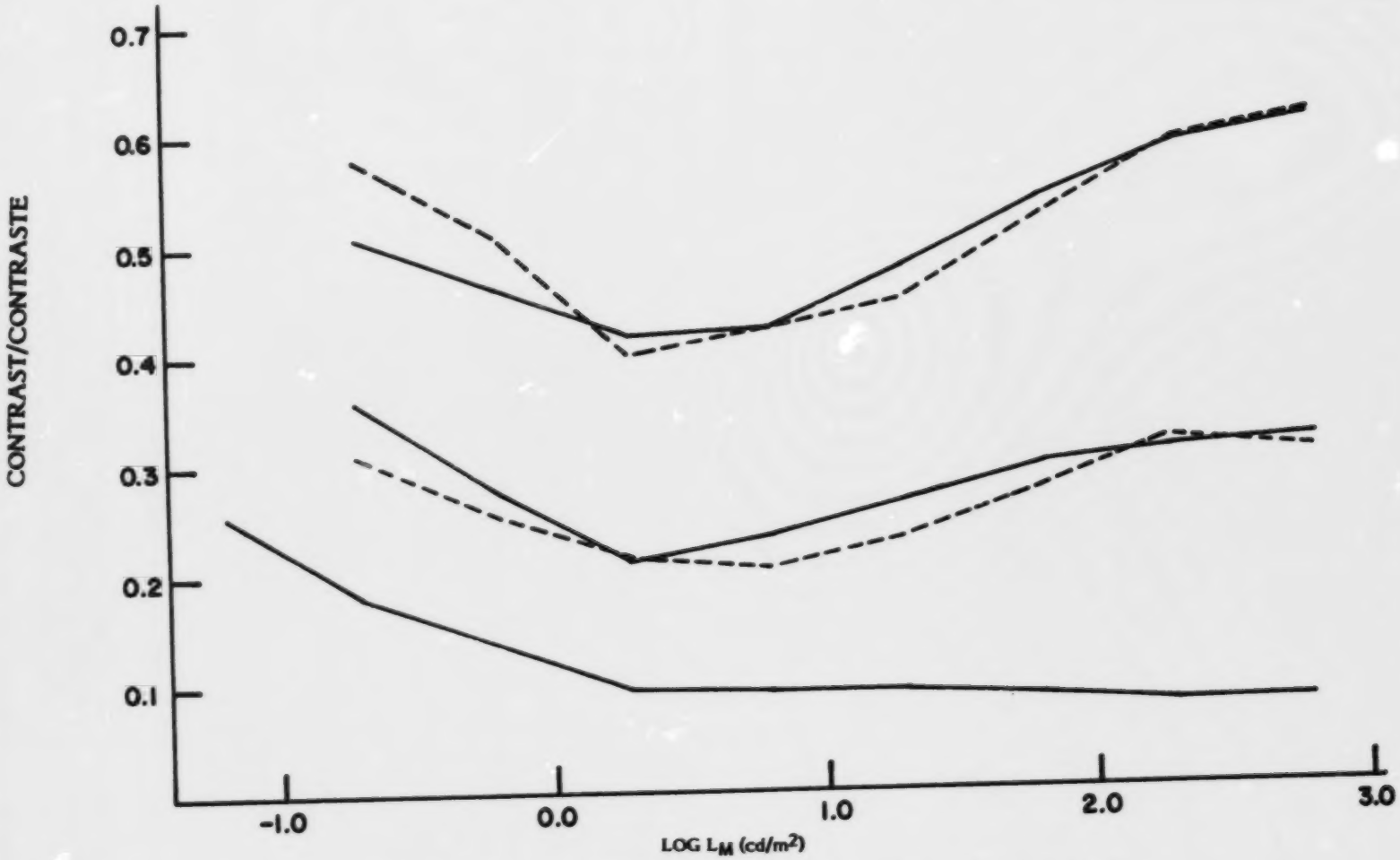


Figure 12. Equal conspicuity contours as a function of mean spatial luminance (L_m) for a 3.9 cyc/deg sine-wave grating[21]. The solid and dashed curves represent the results for two different observers.

Figure 12. Contours de netteté égale en fonction de la luminance spatiale moyenne (L_m) pour une grille d'ondes sinusoïdales de 3,9 cycles/degré[21]. Les lignes en trait plein et en pointillé sont les résultats obtenus avec deux observateurs différents.

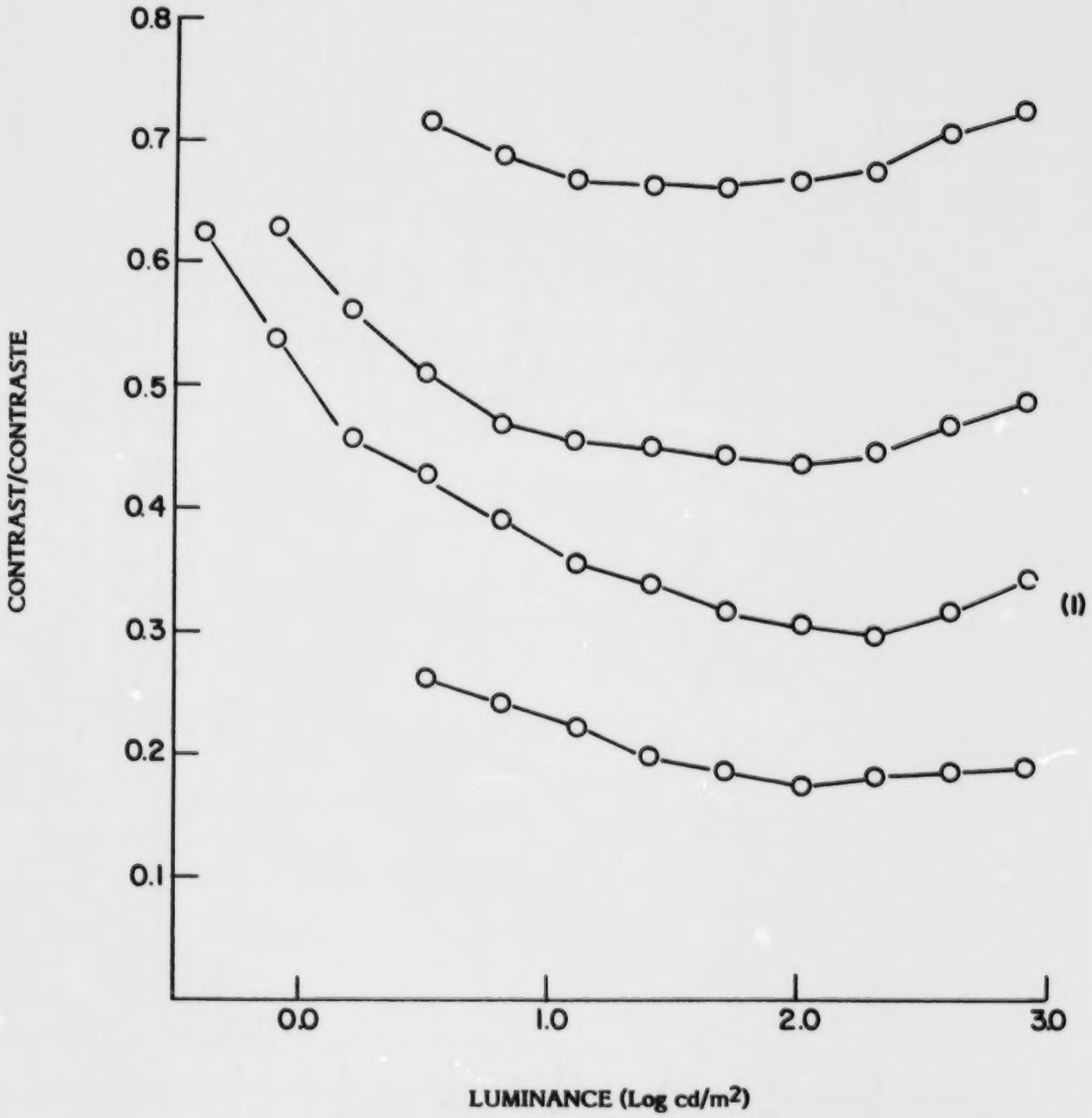


Figure 13. Equal conspicuity contours averaged over four subjects and alphabets of three stroke widths (6.5, 4 and 3.2 min. of visual angle), except for curve (1) which is the result for a single subject[22].

Figure 13. Contours de netteté égale tracées en faisant la moyenne des résultats obtenus avec quatre sujets pour des lettres de trois largeurs de trait différentes (angle visuel de 6,5', 4' et 3,2'), sauf la courbe (1) qui représente les résultats d'un seul sujet[22].

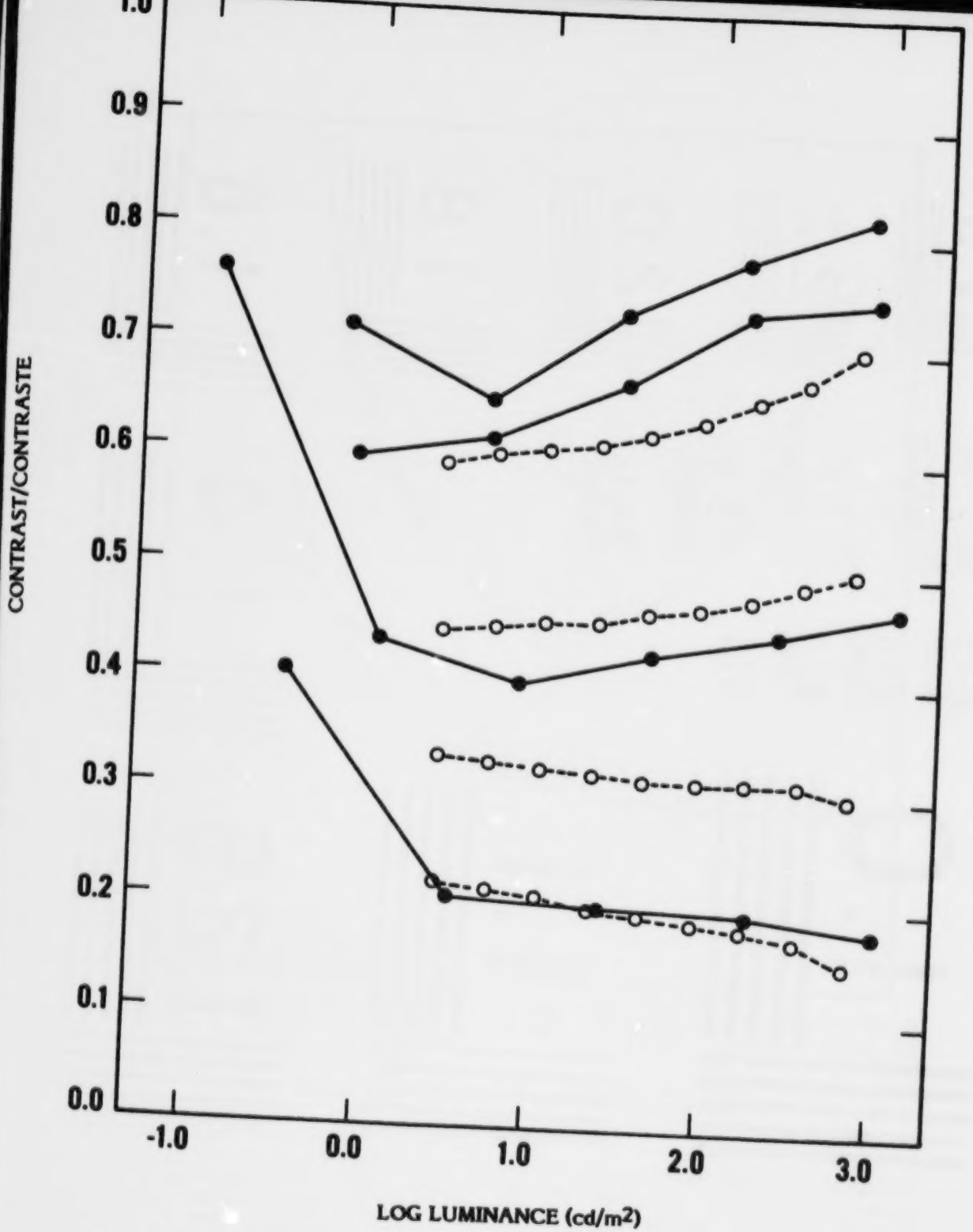


Figure 14. Comparison of equal conspicuity contours for five-bar[1] and square-wave grating[21] stimuli. Bar width is 6.0 and 7.7 min. of visual angle for five-bar and square-wave grating, respectively.

Figure 14. Comparaison des contours de netteté égale obtenues avec le modèle à 5 lignes[1] et la grille d'ondes carrées[21]. La largeur des lignes est, respectivement, de 6,0 et 7,7 minutes d'angle visuel pour le modèle à 5 lignes et la grille d'ondes carrées.

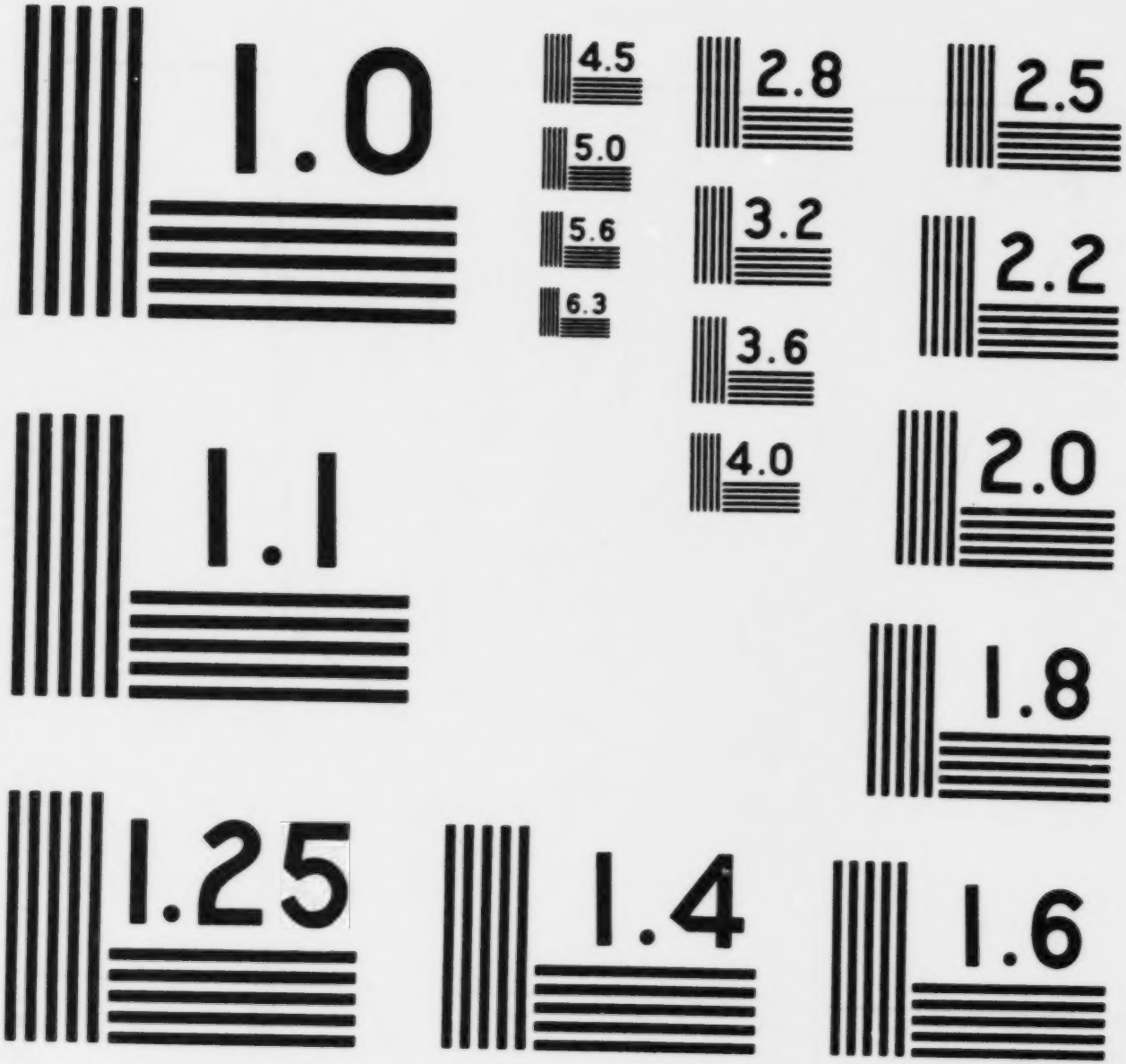


Figure 15. NBS Microcopy Test Chart.

Figure 15. Tableau de test, microphotographié du NBS

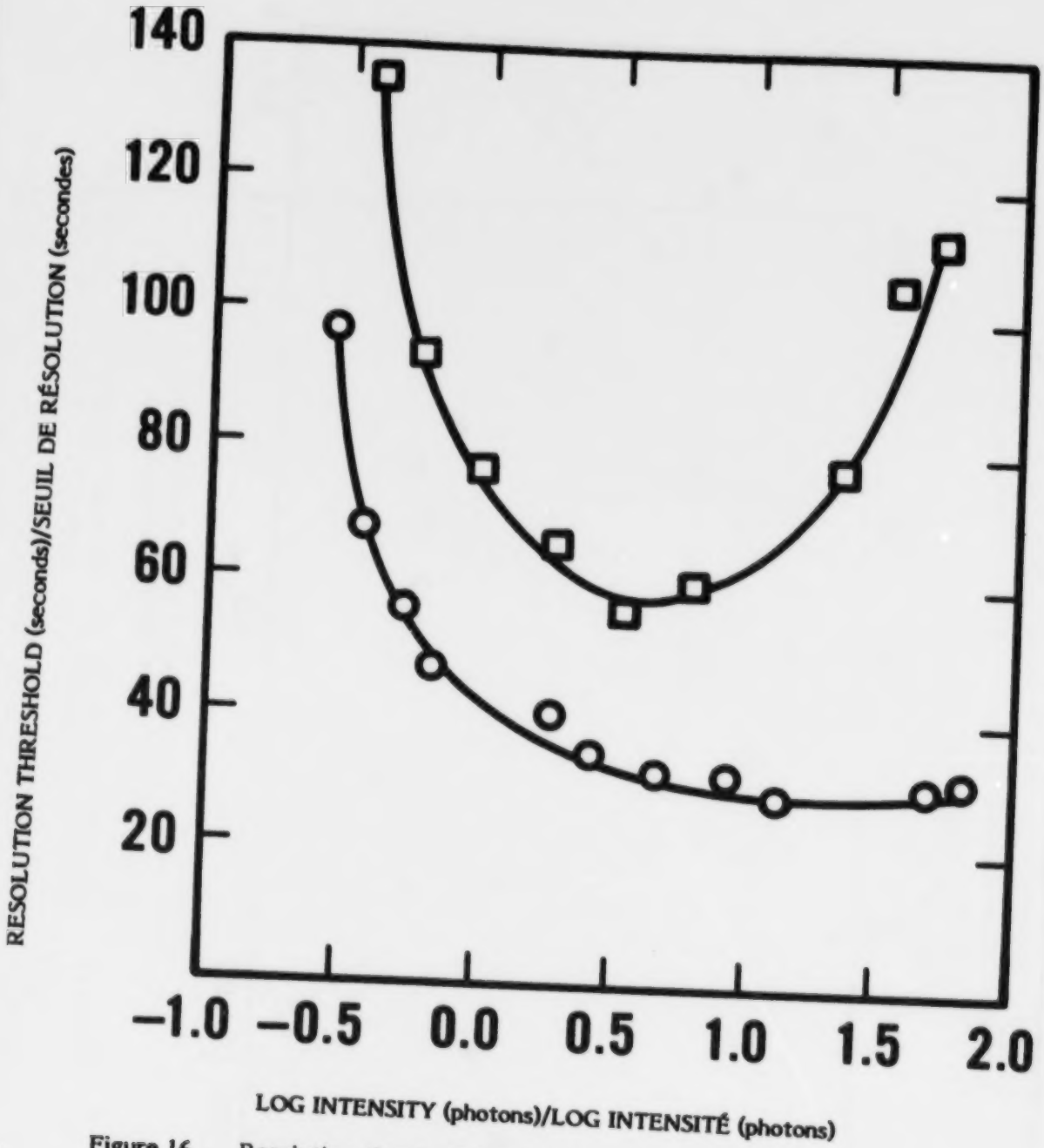


Figure 16. Resolution threshold for the separation of two parallel lines. Open circles are the results for the separation of two **dark** bars on a lighter background. Open squares are the resolution threshold for the separation of two **light** bars on a darker background. Adapted from Wilcox[25].

Figure 16. Seuil de résolution pour la séparation de deux lignes parallèles. La courbe des cercles vides donne les résultats du test de séparation de deux barres **foncées** sur un fond plus clair. Les carrés vides tracent le seuil de résolution pour la séparation de deux barres **claires** sur un fond plus sombre. Adapté de Wilcox[25].

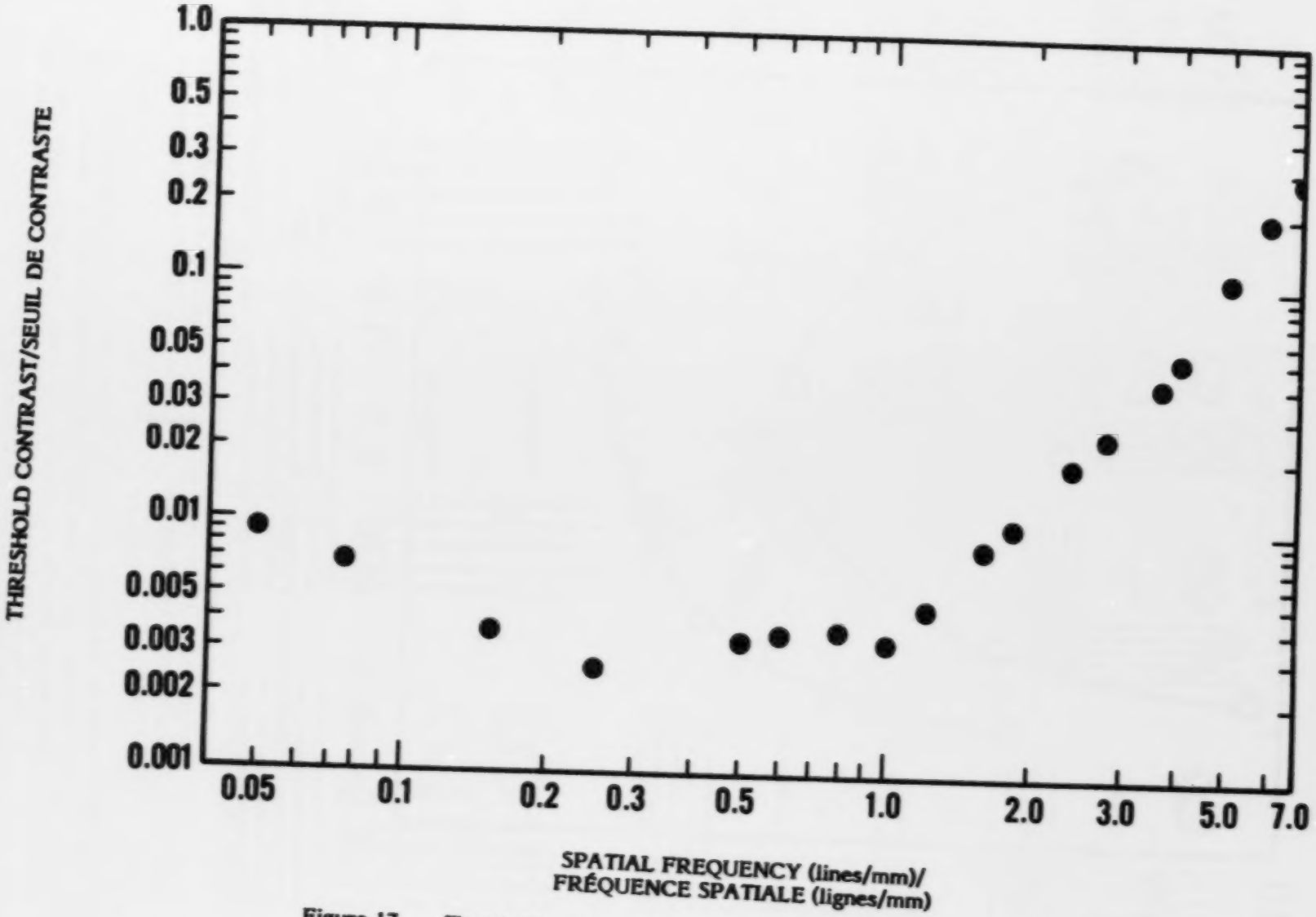


Figure 17. Threshold contrast for the resolution of sine-wave gratings as a function of spatial frequency. Adapted from De Palma and Lowry[26].

Figure 17. Seuil de contraste pour la définition de grilles d'ondes sinusoïdales en fonction de la fréquence spatiale. Adapté de De Palma et Lowry[26].

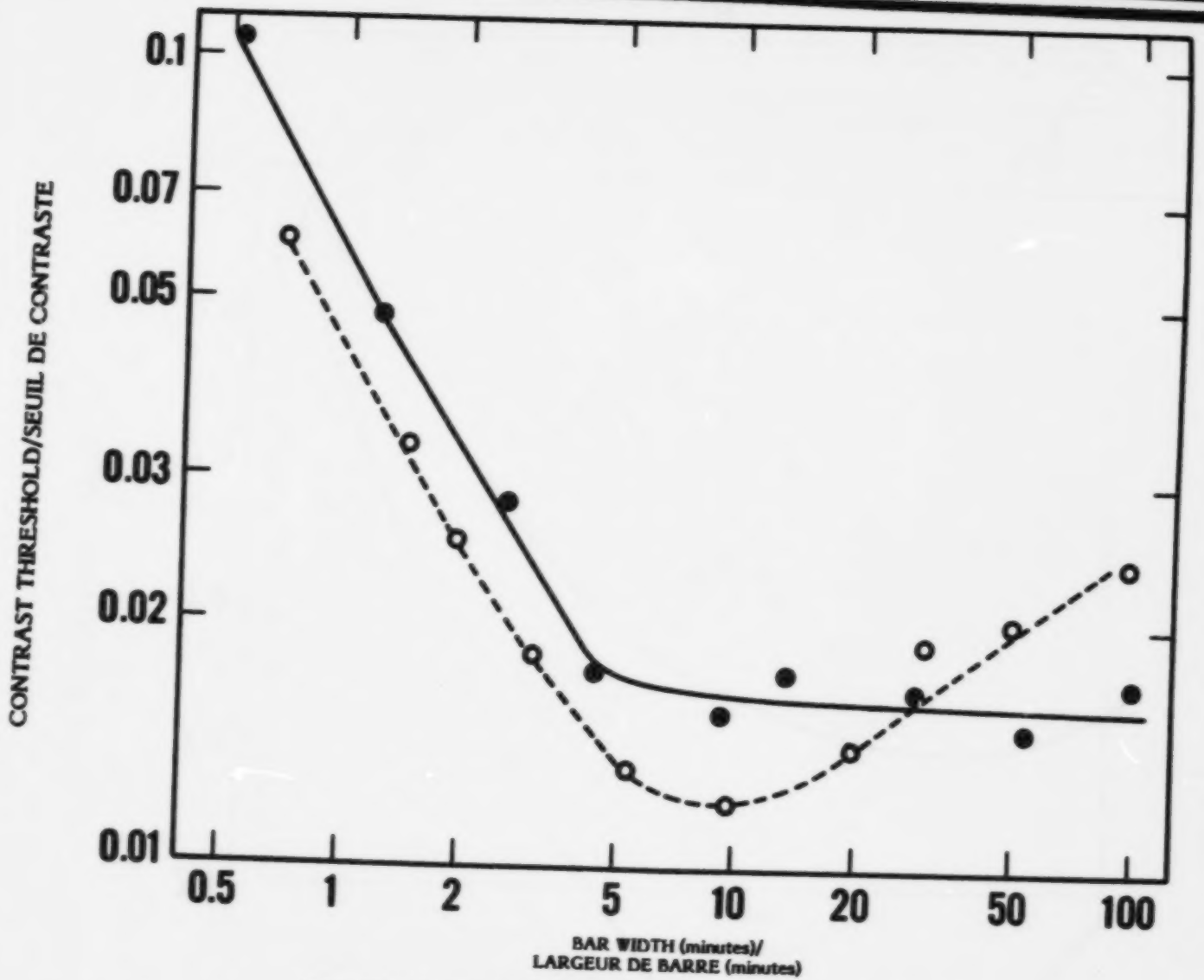


Figure 18. Contrast threshold for detection of a single line as a function of line width. The solid curve (solid lines) are the results for bright bar against a darker background and the dashed curve (open circles) is for a dark bar seen against a lighter background. Adapted from Fry[27].

Figure 18. Seuil de contraste pour la détection d'une seule ligne en fonction de la largeur de la ligne. La courbe en trait plein (cercles pleins) donne les résultats obtenus pour une ligne claire sur fond sombre et la courbe en pointillé (cercles vides) pour une ligne sombre sur un fond plus clair. Adapté de Fry[27].

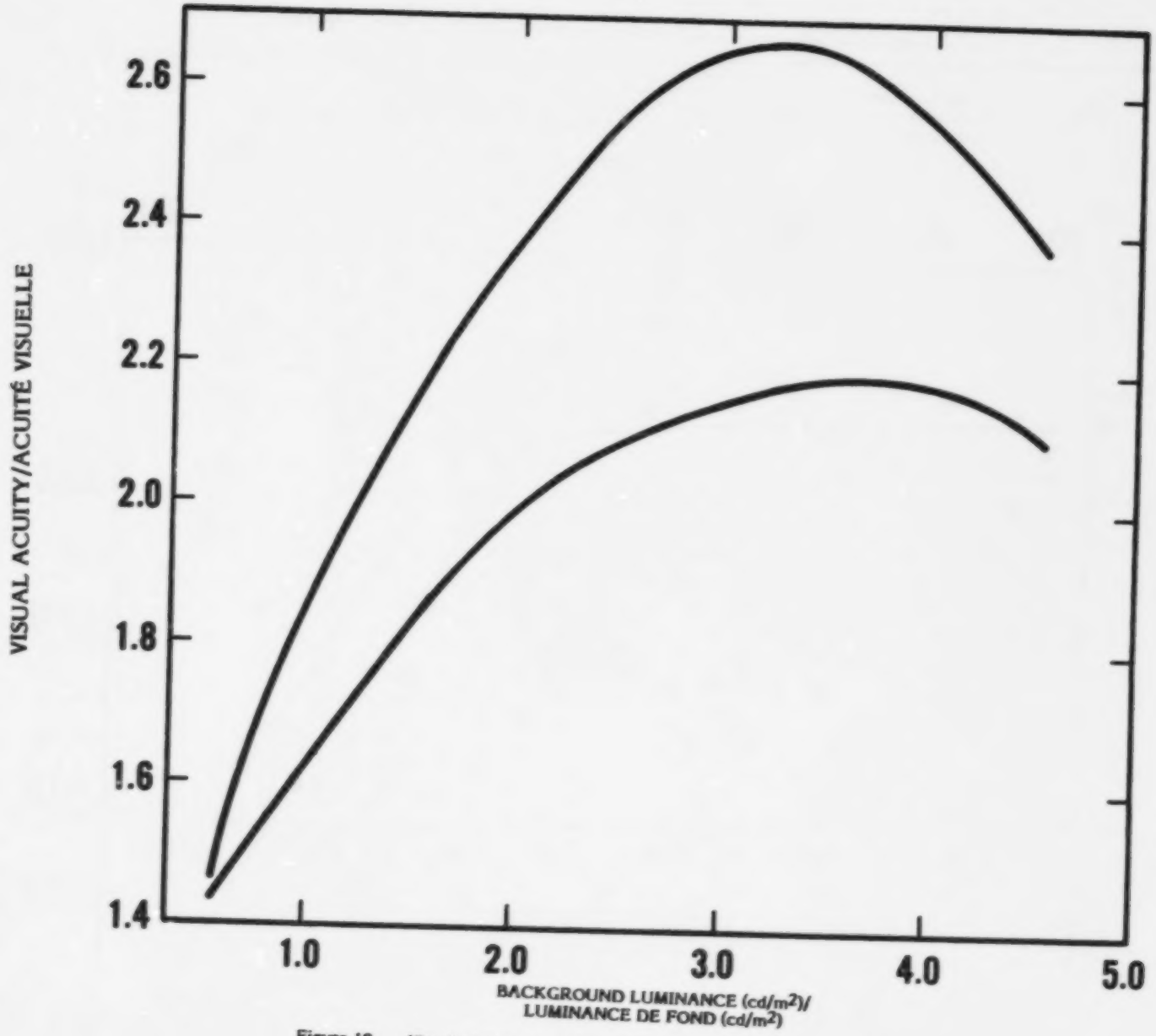


Figure 19. Visual acuity as a function of background luminance for a Landolt C target of high contrast. Adapted from Stevens and Foxell[28].

Figure 19. Acuité visuelle en fonction de la luminance de fond pour un "C" de

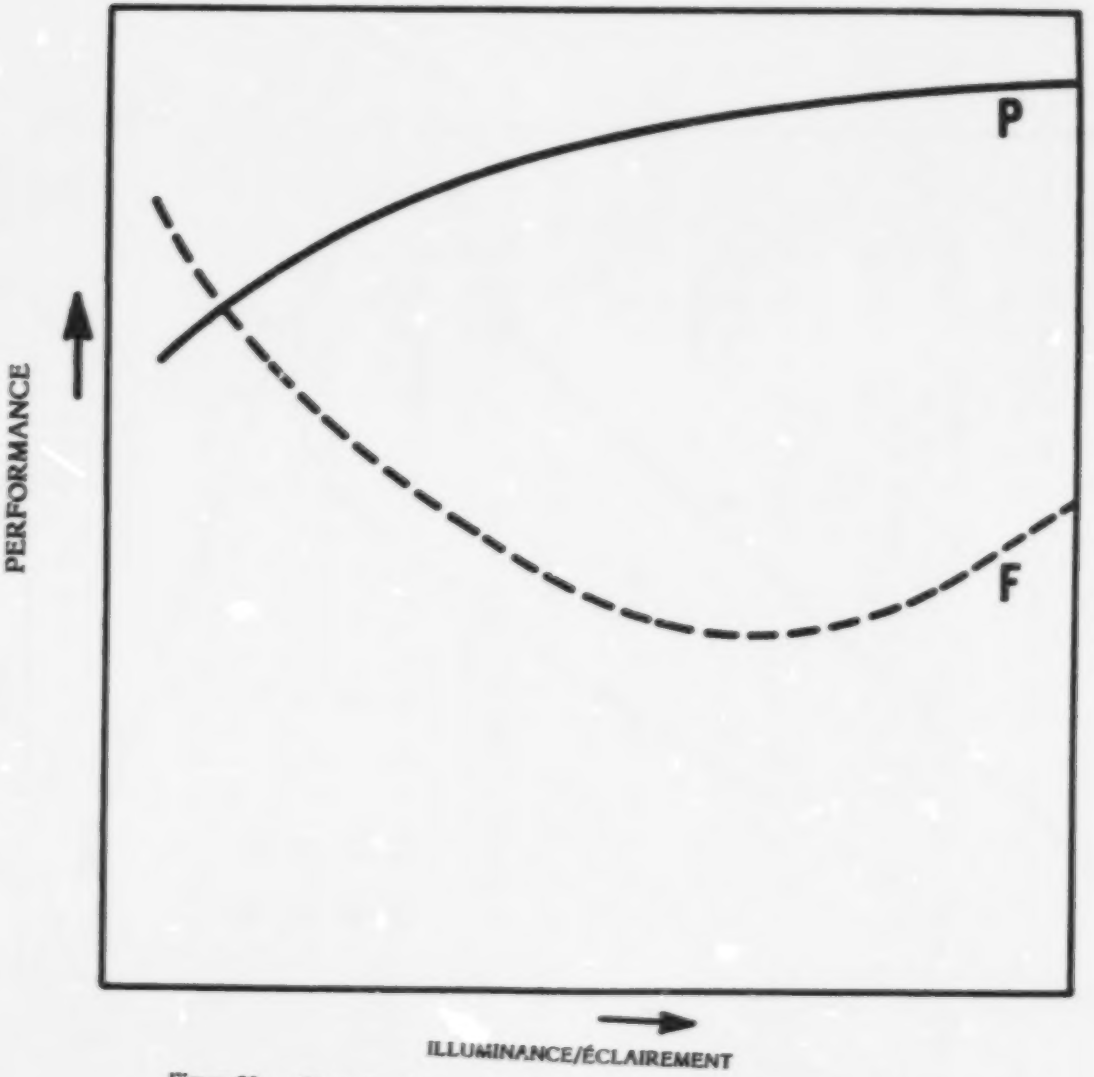


Figure 20. The general form of the performance vs illuminance function found by Khek and Krivolahvy[29]. The dashed curve (F) is when performance is evaluated as error rate, and the solid curve (P) is when time is the dependent variable.

Figure 20. Forme générale de la fonction performances/éclairement découverte par Khek et Krivolahvy[29]. Si l'on évalue les performances selon la fréquence d'erreur on obtient la courbe en pointillé (F) et si l'on prend le temps comme variable dépendante on obtient la courbe en trait plein (P).

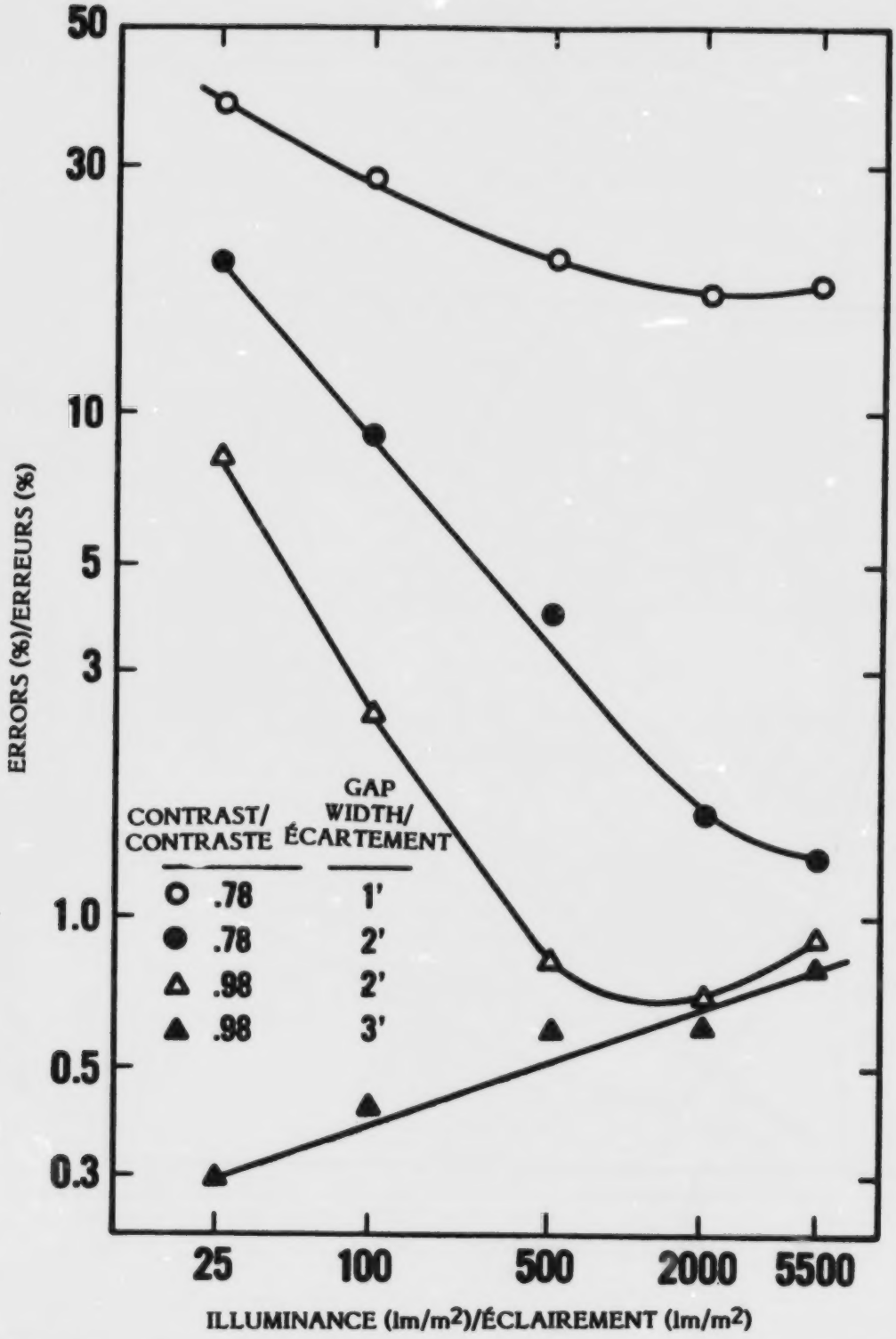


Figure 21. Percent error as a function of illuminance for continuous (100 min.) reading of Landolt C's. Adapted from Khek and Krivolahvy[29].

Figure 21. Pourcentage d'erreur en fonction de l'éclairement, pour une observation continue (100 minutes) d'un "C" de Landolt. Adapté de Khek et Krivolahvy[29].

References/Références

1. Yonemura, G.T., Rinalducci, E.J., Tibbott, R.L. and Fogelgren, L.A., "Equal Apparent Conspicuity Contours with Five-Bar Grating Stimuli", NBSIR 70-1925, 1980.

2. Roethlisberger, F.J. and Dickson, W.J., **Management and the Worker**, Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass., 1939.

3. Parsons, H.M. What Happened at Hawthorne?, **Science**, 922-932, 1974.

4. Smith, S.W. and Rea, M.S., "Proofreading under Different Levels of Illumination", **J. Ill. Eng. Soc.**, 8, 47-52, 1978.

5. Lofberg, H.A., Lofstedt, B., Nilsson, I. and Wyon, D.P., "Combined Temperature and Lighting Effects on the Performance of Repetitive Tasks with Differing Visual Content", CIE Proc. 18th Session, London, 1975, CIE Publication No. 36 (1976), 450-455, 4, Avenue Du Recteur Poincare, Paris.

6. Shigehisa, T. and Gunn, W.J., "Annoyance Response to Recorded Aircraft Noise. I. Effect of Intensity of Illumination", **J. Auditory Res.**, 18, 175-183, 1978.

7. Fanger, P.O., Breum, N.O. and Jerking, N.O., "Can Colour and Noise Influence Man's Thermal Comfort?" **Ergonomics**, 20, 11-18, 1977.

8. Jay, P.A., "Lighting and the Search for Meaning", In **Developments in Lighting-1**, J.A. Lynes, Ed., Applied Science Publishers Ltd., 77-111, London, 1978.

9. Bartley, S.H., **Principles of Perception**, Harper and Brothers, New York, 1958, p. 450.

10. Leibowitz, H., Mitchell, E. and Angrist, N., "Exposure Duration in the Perception of Shape", **Science**, 120, 400, 1954.

11. Lam, W.M.C., **Perception and Lighting as Formgivers for Architecture**, McGraw-Hil Book Co., New York, 1977.

12. Boyce, P.R., "Under the Influence of Lighting", In **Developments in Lighting-1**, J.A. Lynes, (Ed.,) Applied Science Publishers Ltd., 47-76, London, 1978.

13. Flynn, J.E., Hendrick, C., Spencer, T., and Martyniuk, O., "A Guide to Methodology Procedures for Measuring Subjective Impressions in Lighting", **J. Ill. Eng. Soc.**, 8, 95-110, 1979.

14. Fox, W.R., "Visual Discrimination as a Function of Stimulus Size, Shape and Edge-Gradient", In Wulfeck, J.W. and Taylor, J.H., (eds.), **Form Discrimination as Related to Military Problems**, Publications 561, National Academy of Science-National Research Council, 168-175, 1957.

15. Brainard, R.W. and Caum, K.B., **Evaluation of an Image Quality Enhancement Technique**, AMRL-TR-65-143, Sept. 1965, NTIS No. AD624470.

16. Tinker, M.A. "Trends in Illumination Standards", **Ill. Eng.**, 43, 866-881, (871), 1948.

17. Graham, C.H. (ed.) **Vision and Visual Perception**, John Wiley and Sons, New York, 1965.

18. Stevens, S.S. (ed.) **Handbook of Experimental Psychology**, John Wiley and Sons, New York, 1951.

19. Overington, I. **Vision and Acquisition**, Pentech Press, London, 1976.

20. Gibson, K.S. and Tyndall, E.P.T., "Visibility of Radiant Energy", **Scientific Papers of the Bureau of Standards**, No. 475, 1923.

21. Yonemura, G.T. and Kohayakawa, Y., "A New Look at the Research Basis for Lighting Level Recommendations", **NBS Building Science Series 82**, 1976.

22. Yonemura, G.T., Benson, W.M. and Tibbott, R.L., **Levels of Illumination and Legibility**, NBSIR 77-1306, 1977.

23. Poppel, E. and Harvey, L.O., Jr., "Differential Threshold and Subjective Brightness in the Periphery", **Psychol.Forsch.**, 36, 145-161, 1973.

24. Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), Comité D'Études sur la Lumière et la Vision rapporteur, LeGrande, Y., **Proceedings of the 12th session, Stockhold**, Vol. 1, 1951.

25. Wilcox, W.W., "The Basis of the Dependence of Visual Acuity on Illumination", **Proc. Nat. Acad. of Sciences**, 18, 47-56, 1932.

26. De Palma, J.J. and Lowry, E.M., "Since Wave Response of Visual System II. Sine-Wave and Square-Wave Contrast Sensitivity", **J. Opt. Soc. Amer.**, 52, 328-335, 1962.

27. Fry, G.A., "The Optical Performance of the Human Eye". In **Progress in Optics**, E. Wolf, Ed., American Elsevier Publishing Co., Inc., New York, 51-131, 1970.

28. Stevens, W.R. and Foxell, C.A.P., "Visual Acuity", **Light and Lighting**, 48, 419-424, 1955.

29. Khek, J. and Krivohlavy, J., "Variation of Incidence of Error with Visual Task Difficulty", **Light and Lighting, 59**, 143-145, May 1966.

30. Bryngdahl, O., "Characteristics of the Visual System: Visual Response to Photopic Spatial Sine Waves", **J. Opt. Soc. Amer.**, 56, 811-821, 1966.

31. Kulikowski, J.J., "Effective Contrast Constancy and Linearty of Contrast Sensation", **Vision Res.**, 16, 1419-1431, 1976.

32. Watanabe, A., Mori, T., Nagata, S., and Hiwatashi, K., "Spatial Sine Waves Responses of the Human Visual System", **Vision Res.**, 8, 1245-1263, 1968.

33. Georgeson, M.A. and Sullivan, G.D., "Contrast Constancy: Deblurring in Human Vision by Spatial Frequency Channels", **J. Physiol**, 252, 627-656, 1975.

34. Steinhardt, J., "Intensity Discrimination in the Human Eye I. The Relation of $\Delta I/I$ to Intensity", **J. Gen. Physiol.** 20, 185-209, 1936.

35. Backwell, H.R., "Contrast Threshold of the Human Eye", **J. Opt. Soc. Amer.**, 36, 624-643, 1946.

36. Shlaer, S., "The Relation Between Visual Acuity and Illumination", **J. Gen. Physiol.** 21, f1937, 165-188.

Note: The three syndicates that follow have been transcribed from oral presentations.

Note: Ces trois ateliers ont été retranscrits d'après des présentations verbales.

SYNDICATE NO. 1

TOPIC

'THE ROLE OF VISUAL PERFORMANCE IN LIGHTING DESIGN AND SPECIFICATION'

S. BERMAN

H. BRANDSTON

D. FISCHER

W. GRIFFITH

A. LEVY

K. POULTON

J. VOS

J. KAUFMAN (Observer)

ATELIER Nº 1

SUJET

'RÔLE DE LA PERFORMANCE VISUELLE DANS LA CONCEPTION ET LES SPÉCIFICATIONS D'ÉCLAIRAGE'

S. BERMAN

H. BRANDSTON

D. FISCHER

W. GRIFFITH

A. LEVY

K. POULTON

J. VOS

J. KAUFMAN (Observateur)

SYNDICATE NO. 1

THE ROLE OF VISUAL PERFORMANCE IN LIGHTING DESIGN AND SPECIFICATION

ALAN LEVY:

The way we propose to make our presentation is for me to make a short introduction. I will then ask Howard Brandston to read a statement that we have prepared as a result of our syndicates' deliberations. Then we thought it would be valuable for the individual members of our syndicate to say a few words because if you think about it if we didn't have divergence of opinion we wouldn't have had a symposium.

The title of our syndicate was "The Role of Visual Performance in Lighting Design and Specification". If you think about the title of the whole Round Table Symposium, which is the "Integration of Visual Performance Criteria into the Illumination Design Process", you see that our syndicate was attaining, if you like, a policy statement in terms of visual performance in lighting design. So we had two things to grapple with (1), what is lighting design? That may seem a trivial and obvious question. But in our deliberations it became clear that not all of those in research understood the design process in terms of technically what is design and in terms of the economic constraints of lighting design. So we spent a long time discussing that. We also spent considerable time discussing this word 'visual performance' because I would say and this was a conclusion 'visual performance' is understood to mean different things by different people; like the word 'fair', what is fair to someone may not be fair to someone else. So we spent a long time worrying about the definition of visual performance and we decided to use the definition that is contained in CIE 19/2, which is the speed and accuracy of performing a visual task.

ATELIER Nº 1

RÔLE DE LA PERFORMANCE VISUELLE DANS LA CONCEPTION ET LES SPÉCIFICATIONS D'ÉCLAIRAGE

ALAN LEVY:

Notre présentation se déroulera de la façon suivante: je ferai une courte introduction et je demanderai ensuite à Howard Brandston de lire l'exposé que nous avons préparé suite à nos délibérations. En outre, nous avons jugé important que chaque participant à l'atelier nous fasse part de son point de vue puisque, à bien y penser, s'il n'y avait pas eu de divergence d'opinions, le symposium n'aurait pas eu lieu.

Notre atelier, intitulé "Le rôle de la performance visuelle dans la conception et les spécifications d'éclairage" faisait partie du symposium "L'intégration de la performance visuelle dans la conception d'éclairage". D'après ces titres, l'on déduit que l'atelier avait pour but d'établir une politique en matière de performance visuelle dans la conception d'éclairage. Nos discussions ont donc porté sur deux questions principales. En premier lieu, nous avons cherché à définir la conception d'éclairage. À première vue, cela peut sembler évident et banal, mais au cours de nos délibérations, nous nous sommes rendu compte que le processus de la conception d'éclairage, que ce soit aux points de vue technique ou économique, n'était pas compris de tous les chercheurs. C'est pourquoi nous avons mis beaucoup de temps à traiter de cette question. En deuxième lieu, nous avons longuement discuté de l'expression "performance visuelle". À l'issue des discussions, nous avons conclu que la performance visuelle ne signifie pas la même chose pour tout le monde. C'est comme le mot "juste"; ce qui est juste aux yeux d'une personne ne l'est pas nécessairement pour une autre. Après de longues délibérations, nous avons choisi de donner à la performance visuelle la définition que l'on trouve dans le rapport CIE nº 19/2, soit la rapidité et la précision avec lesquelles on exécute une tâche visuelle.

One of the purposes of this symposium was to consider energy conservation and a theme running through our deliberations was that people during an energy crisis wanted to be able to conserve energy in buildings - lighting being a major component of energy consumption - but while doing that they worried about what they were doing and how they affected the human needs of the people inside that building. Visual performance is a very seductive and attractive word because it seems we can measure something to do with people's productivity - and that is what visual performance infers - then we have some handle on how we are affecting people's human needs when we conserve energy or alter the lighting design. So we have spent approximately eighteen hours a day over the past two days wrestling with these problems.

L'un des objectifs de notre symposium était d'examiner l'économie de l'énergie. Tout au long des discussions, les participants soutenaient qu'au cours d'une crise d'énergie, les gens cherchent à économiser l'énergie (dont l'un des principaux consommateurs est l'éclairage) dans les bâtiments. Mais en économisant ainsi, ils se préoccupent également de la façon dont ils influent sur les besoins humains des gens travaillant dans ces bâtiments. L'expression "performance visuelle" est très attrayante puisqu'elle semble suggérer que si nous pouvons mesurer un certain élément du rendement des employés - c'est ce que "performance visuelle" semble laisser entendre - nous pouvons contrôler l'effet que notre économie de l'énergie et les modifications apportées à l'éclairage auront sur les besoins humains des gens. Nous avons donc consacré dix-huit heures par jour au cours des deux derniers jours à discuter de ces questions.

We prepared a statement - the statement is brief. It is inversely proportional to the time we spent getting to it. I will now ask Howard Brandston to present that statement and other members of our syndicate to make their individual viewpoints known and then we will return to Howard for his final comments.

Nous avons préparé un bref exposé dont la longueur est inversement proportionnelle au nombre d'heures que nous y avons consacrées. Je cède maintenant la parole à Howard Brandston qui va lire ce document. J'inviterai ensuite les autres membres de notre groupe à exprimer leur point de vue, puis Howard vous fera part de ses derniers commentaires.

HOWARD BRANDSTON:

Criteria for lighting design

The most significant problem in the design of any illumination system today is an understanding of what is good lighting. The following is a list of criteria for good lighting design:

- All spaces (entry, transition, linger, work, exit, etc.) are properly composed in a clear hierarchy of importance and purpose.
- The lighting provides spatial clarity.
- The lighting mood is consistent with each function and the space design.

HOWARD BRANDSTON:

Critères pour la conception d'éclairage

Le principal problème dans la conception de n'importe quel système d'éclairage aujourd'hui, c'est de savoir ce qu'est un bon éclairage. Voici donc une liste de critères pour une bonne conception de l'éclairage:

- Tous les espaces (entrées, passages, travail, sorties, etc.) s'inscrivent correctement dans une hiérarchie clairement définie de leurs importance et but.
- L'éclairage assure la clarté spatiale.
- Le ton de l'éclairage est conforme à chaque fonction et à la conception de l'espace.

- It provides for good potential productivity.
- It is cost effective.
- It has fully utilized the potential of daylight if it is available.
- It is readily maintainable.
- It is energy effective.
- All state of the art alternatives have been considered.

Lighting provides critical clarity. It is very important that people can see the spaces they are in. They will then become immediately comfortable. The lighting mood and system function are the same in design; you would not want a restaurant of fine quality to look like a cafeteria, or an office to look like a classroom. Lighting must provide a good potential for productivity.

The lighting design must be cost effective which is very important because there is generally an overall budget for every project and every piece of that project gets a piece of that pie. The lighting design should not be greedy, it should be readily maintainable. If you have not done a design that is easy to maintain, your design will not work. If the people who are going to maintain that design have not been part of the process of its development, they probably won't understand it and will not be able to service it at all because they will have no understanding of the part it is playing or its role in that building project.

- L'éclairage permet d'atteindre une bonne productivité.
- L'éclairage est rentable.
- L'éclairage utilise à fond toute la lumière du jour disponible.
- L'entretien du système d'éclairage est facile.
- L'éclairage est efficace du point de vue énergétique.
- Cet éclairage a été adopté après que l'on ait examiné toutes les autres possibilités qui permettraient les règles de l'art.

L'éclairage assure une clarté critique. Il importe que les gens voient bien l'espace où ils se trouvent, car cela leur permet de se sentir immédiatement à l'aise. Du point de vue de la conception, le ton de l'éclairage doit correspondre à la fonction du système; on ne veut pas qu'un restaurant de qualité ait l'air d'une cafétéria, ni qu'un bureau ait l'air d'une salle de classe. L'éclairage doit permettre de réaliser une bonne productivité.

La conception d'éclairage doit être rentable; ceci est très important, parce qu'il y a généralement un budget d'ensemble pour chaque projet, et que chaque partie du projet se voit affecter une partie du budget. La conception d'éclairage ne doit pas être coûteuse, et doit permettre un bon entretien. Si vous n'avez pas réalisé une conception facile à entretenir, votre système ne fonctionnera pas longtemps. Si les gens qui doivent entretenir le système n'ont pas participé à sa mise au point, ils ne vont probablement pas en comprendre les détails et seront très probablement incapables de l'entretenir, puisqu'ils ne sauront pas quel rôle il joue dans le projet de bâtiment.

It is energy effective. Energy effective has the same implications as cost effective. What price do we pay for energy conservation? It is an important issue. We live here in North America, and some in the Industrialized Nations, it is not India or Indonesia. We have created for ourselves a standard of living, a quality of life and we have to carefully weigh what price we are paying for the lights we turn out and that the consequences of those alternatives have been considered.

La conception doit également conserver l'énergie, cela revient à dire qu'elle doit être rentable. Or, quel est le prix que nous payons pour conserver l'énergie? C'est une question importante, puisque nous vivons en Amérique du Nord ou dans d'autres nations industrialisées et non pas en Inde ou en Indonésie. Nous avons acquis un certain niveau de vie, une certaine qualité de la vie, et nous devons peser soigneusement le prix que nous payons pour les lampes que nous fabriquons; nous devons nous assurer d'avoir tenu compte de toutes les conséquences possibles.

There are new switching devices, new technologies, new monitoring devices, everything else we have developed in recent years because of the energy situation. Unless all of these systems are considered and carefully used we will not save energy. Reducing the power or the connected load, has nothing to do with energy conservation on the whole. It is how well you control the time, the amount of time you have the energy burning. We see many buildings that are under or improperly lighted to save energy, and then they leave the lights on all night or they have to switch on entire floors in order to clean them up in the evening, thereby handicapping the people during the day time and wasting energy during the evening.

Au cours de ces dernières années, à cause de la situation énergétique, nous avons mis au point de nouveaux dispositifs de commutation, de nouvelles techniques et de nouveaux dispositifs de surveillance. À moins de tenir compte de tous ces nouveaux systèmes, nous n'allons pas pouvoir économiser l'énergie. Réduire la puissance ou la charge en question n'a rien à voir avec la conservation de l'énergie dans l'ensemble. Ce qui décide la chose, c'est le degré auquel vous parvenez à contrôler la durée d'utilisation de cette énergie. Pour économiser l'énergie, on dote de nombreux immeubles d'un nombre de luminaires nettement insuffisant, mais on y laisse la lumière allumée toute la nuit, ou alors il faut y allumer la lumière de tout un étage lorqu'on veut faire le nettoyage le soir, ce qui rend la tâche difficile aux gens qui y travaillent pendant la journée, puis gaspille l'énergie pendant la nuit.

Simply put, the lighting should be a benefit to the interior environment and an important part of the design for people and spaces.

En simplifiant les choses, on peut dire que l'éclairage doit être bénéfique pour l'intérieur et contribuer à une conception taillée à la mesure de l'homme et de l'espace.

The starting point of lighting design is the statement of human needs to be considered in terms of user acceptance. This starting point, or statement of human needs is the first step in any job. You cannot design a project without interaction with the users representatives to know what they need. Generally these include:

Le point de départ de la conception d'éclairage, ce sont les besoins humains; on doit en tenir compte pour l'acceptation par l'utilisateur, comme pour n'importe quel autre projet. Or, on ne peut pas savoir ce dont ont besoin les utilisateurs s'il n'y a pas, lors de la conception du projet, un certain dialogue avec les représentants des utilisateurs. Ces besoins comprennent généralement ce qui suit:

A. Ability to see

A. Aptitude à voir

B. Revelation of space

B. Révélation de l'espace

C. Spatial Clarity

D. Comfort

E. Appropriate to function

F. Composition and relationship of spaces

G. Perform required tasks

Visual Performance

In an attempt to quantify task performance CIE TC 3.1 defined Visual Performance as: "In general the speed and accuracy with which a visual task is performed". This specific definition was taken to make Visual Performance accessible to laboratories experimentation. As yet, a general definition which encompasses all of the above human needs does not exist.

Since visual performance is only one of many items that should be considered in the design process, decisions on lighting parameters cannot depend on visual performance alone.

Bases of Current Recommended Practice

The bases of current recommended practice is a combination of experience, shared consensus with subsequent refinements, often making implicit use of visual performance and cost benefit analysis have been used to specify illuminances. Every time we make a decision, we are implicitly thinking about visual performance, cost-benefit analysis, etc... Other physical lighting parameters, such as type of source, luminaire distribution, as well as location are important consideration that must be included in the lighting design.

Experience has shown that spaces should be lighted for appearance first, then specifically for the task required. To accomplish these practices, the designer should be able to impact on the characteristic of the surfaces and the interior furnishings. The important thing here is that you light the spaces first and then see what you need afterwards.

C. Clarté spatiale

D. Confort

E. Adaptation à la fonction voulue

F. Composition et rapport des espaces

G. Exécution des tâches requises

Performance

Afin de quantifier la performance de tâche, le TC 3.1 de la CIE a défini la performance visuelle comme étant, "en général, la rapidité et la précision avec lesquelles on exécute une tâche visuelle". Cette définition précise a été adoptée afin de pouvoir soumettre la performance visuelle à des expériences en laboratoire. Une définition générale couvrant tous les besoins humains susmentionnés n'existe pas encore.

Étant donné que la performance visuelle n'est que l'un des nombreux éléments à considérer dans la conception, les décisions relatives aux paramètres d'éclairage ne sauraient dépendre uniquement de la performance visuelle.

Bases des pratiques recommandées actuellement

Les pratiques recommandées actuellement combinent l'expérience et les facteurs adoptés de commun accord (avec des améliorations ultérieures) qui utilisent implicitement la performance visuelle ainsi que l'analyse coût-bénéfice, afin de préciser les éclairements. Chaque fois que nous prenons une décision, nous songeons implicitement à la performance visuelle à l'analyse coût-bénéfice, etc. D'autres paramètres physiques de l'éclairage, tels le type de source et la répartition et localisation des luminaires, sont des facteurs importants que l'on doit inclure dans la conception d'éclairage.

L'expérience a démontré que l'on doit d'abord éclairer les espaces en vue de leur apparence, ensuite spécifiquement pour la tâche requise. À ces fins, le concepteur doit pouvoir cerner les caractéristiques des surfaces et de l'ameublement. L'important, c'est d'éclairer les espaces d'abord, puis de voir ce qu'il faut encore y prévoir.

Interaction between energy effectiveness and the quality of the lighting environment

Indiscriminant reduction of lighting levels as a method of reducing energy costs without consideration of total human need, can be counter productive. Increased attention to design, maintenance and controls, will result in more effective lighting. Before you reduce energy by delamping, use the aforementioned list as a check to be sure you are not sacrificing the human needs of the people in that building.

DIETERT FISCHER:

I think that CIE Report No. 19/2 provides very valuable background information for lighting engineers and designers. To enable them to know what they are talking about, they must know the basic relationship between the difficulty of a task and the visibility performance, lighting level, inference of age and so on. But, visual performance is only one aspect of total performance of a task and just as important or even perhaps more important is motivation of people. Motivation of people depends on how they feel in their environment, and therefore, I think lighting engineers and designers should be just as informed about the bases for visual performance and the results of investigations into comfort aspects, that means, preferred lighting level, aspects of discomfort glare, colour rendering and contrast lighting. In the new issue of the CIE Interior Lighting Guide, we are going to include some of the drafts of TC 19/2 giving these relationships that I just mentioned, and also a diagram about preferred lighting levels just as an information booklet about the background. Also included will be the recommendations on the ranges for lighting levels, which are required due to present conditions, differences in interiors and environments, etc.

Interaction entre l'efficacité énergétique et la qualité du milieu d'éclairage

La réduction indiscriminée des niveaux d'éclairage pour couper les frais d'énergie, sans considérer les besoins humains d'ensemble, risque d'être à l'encontre de la production. Si l'on porte une attention plus grande à la conception, à l'entretien et aux contrôles, on obtiendra un éclairage plus efficace. Avant de réduire la consommation d'énergie en éliminant tout simplement des lampes, lisez la liste susmentionnée pour vous assurer que vous n'êtes pas en train de sacrifier les besoins humains des gens qui vont travailler dans ce bâtiment.

DIETERT FISCHER:

À mon avis, le rapport CIE n° 19/2 offre des renseignements précieux pour les ingénieurs et les concepteurs d'éclairage. Pour qu'ils sachent de quoi il parlent, ils doivent connaître le rapport essentiel entre la difficulté d'une tâche et le niveau d'éclairage, la performance visuelle, l'effet de l'âge, et ainsi de suite. Cependant, la performance visuelle n'est qu'un aspect de la performance d'ensemble d'une tâche; la motivation des gens est un facteur au moins aussi ou même plus important. Or, la motivation des gens dépend de leurs sentiments face à l'environnement; je pense donc que les ingénieurs et les concepteurs devraient être au courant des principes de la performance visuelle et des résultats d'études faites sur le confort visuel (c.-à-d. le niveau préféré d'éclairage, l'éblouissement gênant, le rendu des couleurs et les contrastes de lumières). Dans la nouvelle édition du Guide d'éclairage d'intérieur de la CIE, nous allons inclure certaines ébauches de la TC 19/2 précisant ce que je viens de mentionner, ainsi qu'un diagramme des niveaux préférés d'éclairage, comme aperçu général. Nous y inclurons également des recommandations sur les différents niveaux d'éclairage qui sont choisis en fonction des conditions existantes, des intérieurs, de l'envionnement, etc.

Perhaps it is of interest to you that the ISO has prepared in our final draft of economic recommendations one chapter on lighting in line with what we are preparing within TC 4.1 Interior Lighting. Also there will be a list of recommendations of illuminances as grouped in ranges of three numbers.

Point intéressant à signaler, l'ISO a préparé, dans son ébauche définitive des recommandations économiques, un chapitre sur l'éclairage semblable à ce que nous sommes en train d'élaborer dans le cadre de la TC 4.1 "Éclairage d'intérieur". Il y aura également une liste de recommandations d'éclairements, groupées en rangées de trois chiffres.

KEVIN POULTON:

KEVIN POULTON:

The Australian approach to Lighting Design is a two-fold approach. That is we try to effectively reveal the task and at the same time provide a safe and comfortable working environment. There is no priority, as far as we are concerned, with these two criteria.

L'approche australienne en matière de conception d'éclairage a deux volets: nous essayons de révéler la tâche tout en fournissant un milieu de travail sécuritaire et confortable. Aucun de ces deux critères ne prime par rapport à l'autre.

We have a lighting standard and this sets out for us the parameters of a lighting installation as we see them. That is, efficient seeing of the task depends on adequate illuminance, freedom from unwanted reflections and that the luminance of the surrounding area must be correctly related to the luminance of the task.

Nous avons une norme d'éclairage qui nous précise les paramètres des installations d'éclairage à réaliser. La vision efficace d'une tâche dépend d'un éclairement adéquat, de l'absence de réflexions gênantes et d'un rapport correct entre la luminance du milieu et la luminance de la tâche.

Similarly, as safe and comfortable working environment depends on the avoidance of excessive illuminance variations, control of direct glare, correct luminance distribution and the use of suitable colours of the main interior surfaces. The light source should have suitable colour characteristics. Generally the emphasis must be on the quality of the lighting installation. We believe very strongly that adequate visual performance cannot be obtained unless there is adequate quality of lighting.

De même, un milieu de travail sécuritaire et confortable dépend de l'absence de variations excessives d'éclairement, du contrôle de l'éblouissement direct, d'une bonne répartition de la luminance ainsi que de l'utilisation de couleurs appropriées sur les principales surfaces d'intérieur. La source lumineuse doit avoir des caractéristiques de couleur appropriées. En général, on doit mettre l'accent sur la qualité de l'installation d'éclairage. On ne peut pas, à notre avis, obtenir une performance visuelle adéquate sans un éclairage de bonne qualité.

Visual performance is implied in our recommended values and we are in for a modest level of about 90 per cent. Our belief is that the productivity of the individual at the end of the day is effected by many factors other than visual performance, it is only a small component of the total performance of the individual. The well being of the individual in the work place, depends as much upon his chair, the organization of his work, motivation, the environment and the social interaction between the individuals and lighting can affect this as well. In short, the working environment must be considered as a total ergonomic unit and of that unit lighting is one part.

In conclusion, we strongly believe that lighting design must be on quality and although it is in the early days yet, the parameter of CRF does seem to have the prospect of the most exciting and useful tool for lighting designers.

SAM BERMAN:

There are several aspects of lighting that should be pursued and that have been touched on by some of my collegues. One is we have learned that quantitative tools are important in lighting design and that it takes many years to develop quantitative tools even for a small portion of the lighting design strategy which may involve visual performance. We should, therefore, not only pursue the quantitative work in visual performance but in all those other important aspects of lighting design which have been previously discussed (comfort, space, etc...) How do we quantify those in an attempt to include them rationally in the design procedure? It seems also for Public Works that flexibility in lighting design must be within their province or within their control, otherwise the goal of 7 1/2 per cent reduction in lighting energy consumption may not be achieved.

Les valeurs que nous recommandons impliquent la performance visuelle, et il s'agit d'un niveau modeste d'environ 90 pour cent. À notre avis, la productivité d'une personne à la fin de la journée est affectée par de nombreux facteurs autres que la performance visuelle, qui n'est qu'une composante limitée de la performance d'ensemble de l'individu. Le bien-être d'un employé dépend autant de sa chaise de bureau, de l'organisation de son travail, de sa motivation, de l'environnment, des rapports avec les autres personnes et la qualité de l'éclairage peut avoir une influence aussi. En bref, on doit considérer le milieu de travail comme une unité ergonomique intégrale, dont l'éclairage n'est qu'une partie.

En conclusion, nous sommes convaincus que la conception d'éclairage doit être une conception de qualité; bien qu'on en soit encore aux débuts, le paramètre CRF semble très prometteur en tant qu'outil des concepteurs d'éclairage.

SAM BERMAN:

Il y a plusieurs aspects de l'éclairage que l'on devrait étudier davantage, et qui ont été mentionnés par certains de mes collègues. Par exemple, nous savons maintenant que les outils quantitatifs jouent un rôle important dans la conception d'éclairage, et qu'il faut de nombreuses années pour mettre au point des outils quantitatifs même pour une faible proportion de la statégie de conception de l'éclairage mettant en jeu la performance visuelle. Nous devrions donc non seulement continuer les travaux quantitatifs en ce qui concerne la performance visuelle, mais aussi les travaux relatifs aux autres aspects importants de la conception d'éclairage, dont on a discuté auparavant (le confort, l'espace, etc.). Comment devons-nous les quantifier afin de les inclure, de manière rationnelle, dans la procédure de conception? À l'avis de Travaux publics Canada, T.P.C. doit pouvoir contrôler la souplesse de la conception d'éclairage, car autrement il serait difficile de réaliser le but: une réduction de 7 1/2 pour cent de la consommation d'énergie pour l'éclairage.

Among the most rational of all flexibilities that should be undertaken and considered by Public Works, is the use of task lighting along with ambient lighting. If a good lighting system and an energy lighting system is to be provided, then the combination of ambient and task lighting must be one of the tools that PWC has at its disposal.

L'emploi d'un éclairage de tâche en sus de l'éclairage ambiant est l'un des aspects les plus rationnels de cette souplesse que devrait considérer Travaux publics Canada. La combinaison d'un éclairage ambiant et de tâche est l'un des outils qui sont à la disposition de ce Ministère afin de réaliser un système d'éclairage de bonne qualité.

The future of lighting looks very interesting because more energy effective or energy efficient technologies are sure to be available to the lighting designer and it is extremely encouraging that PWC has this very forward look to try to encompass all of these new concepts and strategies to make for more energy effective lighting without loss of quality and efficiency.

L'avenir de l'éclairage semble très prometteur, car de nouvelles technologies économisant l'énergie seront à la disposition des concepteurs d'éclairage; l'attitude de T.P.C., qui essaie d'englober tous ces nouveaux concepts et stratégies pour obtenir un éclairage consommant moins d'énergie, sans qu'il y ait cependant perte de qualité ou d'efficacité, est très encourageante.

JOHN KAUFMAN:

Although visual performance may be considered to be a small part of the lighting design, we are using visual performance now in our national recommendation. Speed and accuracy is a weighting factor in the selection of the illuminance value. I believe that more of 19/2 visual performance criteria will be used in lighting design and recommendations as time goes on and simpler devices are developed to evaluate installations. CRF is currently being considered in international recommendations in CIE TC-4.1 report on interior lighting. It is being considered by IES of North America but has not been applied to date. There are indications that this report will be used more and more as long as it becomes a simple element in the lighting design.

JOHN KAUFMAN:

Certains diront peut-être que la performance visuelle n'est qu'une petite partie de la conception d'éclairage; cependant, nous utilisons maintenant la performance visuelle dans notre recommandation nationale. La rapidité et la précision représentent un facteur important dans le choix de la valeur de l'éclairement. Au fil des années et à mesure que des dispositifs plus simples sont mis au point pour évaluer les installations d'éclairage, je crois que de plus en plus de critères de performance visuelle de la CIE 19/2 seront utilisés dans la conception et les recommandations d'éclairage. On envisage actuellement le CRF dans les recommandations internationales du rapport CIE CT-4.1 sur l'éclairage d'intérieur. La Illuminating Engineering Society de l'Amérique du Nord est en train d'étudier le rapport qui n'a pas encore été mis en oeuvre mais qui, il semble, sera utilisé de plus en plus pour devenir enfin un élément fondamental de la conception d'éclairage.

J. VOS:

I am not well prepared to speak on the work of this syndicate but maybe I should speak a little on my own history which I think might be appropriate. I was a member of the committee which was responsible for CIE Report No. 19/2. I think any group needs a devil's advocate and I have played this role over the years saying that what the chairman proposed should be opposed. The final result was that I was the odd man out who voted against the formal adoption of CIE Report No. 19/2 in committee, which is the basis of our discussion. I think that was the reason they invited me here. I hope that throughout this meeting I have played the role of devil's advocate again.

I opted for being in this syndicate because I thought in the first place I wanted to be in contact with people who are in the field. I am a scientist and scientists are a sort of dangerously simplified people and I needed some sort of anti-doubt from my daily work. I appreciated being a member of this syndicate because it has brought me into contact with people who have real practice whereas I have just missed such practice. I was very glad to discover that they put visual performance aspect at a little lower level than you in your profession may feel it should be. Visual performance, certainly in its narrow and restricted definition of speed and accuracy is only one aspect of working. Actually people can complain (very happily) about lighting environment without you finding any aspect of visual performance going wrong. They were performing as a total being in a happy way. So I discovered in this group other aspects of lighting which I hadn't thought much about. I found a little of my reservations about the value of CIE No. 19/2 confirmed with regards to its application to standards and codes. Of course the final results of any deliberations are not always what you want and you can imagine while sitting in such a group and writing in turn one sentence you get a hodge-podge of comments but in general I feel quite happy with the results we have presented here.

J. VOS:

Je vous avoue que je ne suis pas très bien préparé pour donner mon point de vue sur ce qui s'est fait à l'atelier. Je crois toutefois qu'il conviendrait de parler un peu de mes antécédents. J'ai fait partie du comité responsable du rapport CIE nº 19/2. Je suis d'avis que tout groupe a besoin d'un avocat du diable, et c'est moi qui ai joué ce rôle au cours des années. Tout ce que le président proposait, je m'y opposais. Il en est résulté que j'ai été le seul à voter contre l'adoption du rapport CIE nº 19/2 qui fait l'objet de nos discussions. Je crois que c'est la raison pour laquelle on m'a invité ici, et j'espère que j'ai bien joué le rôle de l'avocat du diable tout au long de la réunion.

J'ai choisi de participer à cet atelier parce que je voulais tout d'abord rencontrer des personnes qui s'y connaissent dans le domaine. Je suis un scientifique et, étant donné que les scientifiques sont des personnes dangereusement simplistes, j'avais besoin d'une sorte d'antidote contre mon travail quotidien. En participant à cet atelier, j'ai eu la chance de travailler avec des personnes qui connaissent l'aspect pratique ce qui n'est pas mon cas. J'étais heureux de voir qu'elles accordaient un peu moins d'importance à la performance visuelle que vous n'êtes portés à le faire dans votre profession. En réalité, la performance visuelle, dans son sens restreint (la rapidité et la précision), n'est qu'un des aspects de la performance d'ensemble d'une tâche. Il peut arriver que les employés se plaignent (tout heureux) de la qualité de l'éclairage mais que vous ne trouviez aucune lacune dans la performance visuelle. Au contraire, leur performance d'ensemble est très satisfaisante. En écoutant les divers points de vue, j'ai découvert d'autres aspects de l'éclairage auxquels je n'avais pas pensé beaucoup jusqu'à maintenant. Quelques-unes des réserves que je faisais sur la mise en pratique du rapport CIE nº 19/2 dans les normes et les codes ont été confirmées. Il va sans dire que les résultats finals de toute délibération ne répondent pas toujours à nos attentes. Vous comprenez qu'avec un tel groupe, lorsqu'on rédige des phrases à tour de rôle, on se retrouve avec un méli-mélo d'idées. Mais en général, je suis satisfait des résultats que nous avons présentés.

BILL GRIFFITH:

One of the things that comes out of this kind of an approach where you have this divergence of opinions is very succinct statements and sometimes a lot of the information there is not obvious because what is not said may have more meaning that what is said. I would like to point out that while all the group was in the same room (sometimes working together) they did work tog. ther on one statement and they may disagree with me when I repeat this because I may not get it in the same words but I think there was general agreement with the "st.te-of-the-art" of visual performance evaluation. The definition of visual performance which has just been given to you is such that task performance cannot be evaluated in terms of absolute values using this procedure. This can be drawn by reading the statement from this syndicate but I think it is worth pointing out because some people confuse task performance with visual performance.

BILL GRIFFITH:

Lorsqu'il y a divergence d'opinions, les comptes rendus sont très succincts et parfois, l'information fournie n'est pas claire du fait que les renseignements omis sont plus significatifs que ceux qui sont donnés. Je désire vous rappeler que lorsque tous les participants étaient dans la même pièce, ils ont travaillé ensemble à la préparation d'un seul énoncé, et même si certains ne sont pas d'accord avec moi parce que je n'emploie pas les mêmes termes qu'eux, je pense qu'il convient de le répéter. Je crois que tous les participants étaient d'accord que les méthodes actuelles d'évaluation de la performance visuelle (selon la définition qu'on lui a donné) ne peut être employée pour évaluer le rendement au travail en terme de valeurs absolues. En lisant le présent énoncé, on se rend compte de l'évidence de ce fait, mais j'ai cru qu'il valait la peine de le souligner étant donné que certains confondent le rendement au travail et la performance visuelle.

HOWARD BRANDSTON
(SUMMARY STATEMENT)

I think the main difficulty of this panel stemmed from the fact that we were dealing with two things:

1. How good lighting designers practice lighting design?

2. How lighting is practiced?

The difference is significant. The truth of the matter is that most lighting design is done by rote. There is no money to do it and there are many barriers to that money; standard fees, regulated fees, etc... Lighting levels are looked up in a table, manufacturer's pre-calculation procedures are used to do it and that is called lighting design and that is the truth.

Another significant part of it comes from the fact that people find it difficult to separate the difference between the design part and the illuminating engineering part. The design part has nothing, we take only the spaces, that are to be lighted and we worry about nothing other than that. Visual performance and all the metrics are not considered at all. Then, we analyze, calculate and see what must be added - very few people have the luxury of doing that in practice.

When you think about how well the eye can see and how adaptable it is, you can see how little penalty there is to really using visual performance in its narrow definition.

HOWARD BRANDSTON
(RÉSUMÉ)

Je crois que le problème principal découle du fait que nous traitions deux sujets à la fois:

1. Comment les bons concepteurs d'éclairage devraient pratiquer leur profession?

2. Comment la conception d'éclairage est pratiquée en réalité?

La différence entre ces deux questions est très importante. À vrai dire la majeure partie de la conception d'éclairage se fait machinalement. Les fonds sont insuffisants et difficiles d'accès à cause de nombreux obstacles tels que les frais ordinaires et les frais réglementés. Pour déterminer le niveau d'éclairage, on consulte un tableau en suivant des méthodes de calcul déjà établies que fournit le fabricant. Et voilà ce qu'on appelle la conception d'éclairage. C'est vraiment comme cela que ça se passe.

De leur côté, les gens ont de la difficulté à différencier la conception et l'éclairagisme. La conception ne s'occupe uniquement que de l'espace; elle ne tient pas compte de l'éclairage ni de la performance visuelle ou de la métrique. Ensuite, nous passons à l'analyse, aux calculs et nous déterminons ce qu'il faut ajouter, ce que très peu de personnes ont la chance de faire.

Quand on pense à la facilité qu'a l'oeil de voir et de s'adapter, on s'aperçoit qu'il nuit très peu à l'oeil lorsqu'on emploie la performance visuelle.

SYNDICATE NO. 1

QUESTION PERIOD:

Q. What is CRF?

A. CRF is a contrast rendition factor and is a quality concept related to contrast reduction.

Q. How can people experiment to attain their desired level of lighting? Will there be some flexibility given to the consumer, so that they can come up with what they feel is the best rather than a group of engineers or architects predetermining what they believe is best for the user?

A. The very problem lies in the engineers reticence to make subjective decisions, he is far more comfortable with some calculation procedure that he can quantify and reach an objective number. It is very important that everyone involved in lighting design be quite familiar with the architect's language, be sympathetic and be able to discuss his project and all aspects with him, including flexibility and anything that is important to the user (statement of need, human needs, etc.). As long as the engineer stays back and only does the illuminating engineering he will have very little impact on the building.

ATELIER Nº 1

PÉRIODE DE QUESTIONS:

Q. Qu'est-ce que le CRF?

R. Le CRF signifie le facteur de rendu du contraste (CRF = Contrast Rendering Factor), un concept qui a trait à la réduction des contrastes.

Q. Comment le consommateur peut-il s'y prendre pour arriver à trouver le type d'éclairage le mieux adapté? Lui accordera-t-on une certaine latitude afin qu'il puisse découvrir lui-même l'éclairage qui lui convient le mieux plutôt que de laisser cette tâche aux ingénieurs et aux architectes?

R. Le fond du problème, c'est que les ingénieurs hésitent à prendre des décisions subjectives. Ils se sentent beaucoup plus à l'aise lorsqu'ils prennent une décision objective en suivant une méthode de calcul bien précise. Il est essentiel que tous les intéressés au domaine de la conception d'éclairage connaissent assez bien le jargon des architectes, qu'ils fassent preuve de compréhension à leur égard et qu'ils puissent discuter avec eux de leur projet et de tous les sujets possibles y compris la souplesse d'utilisation et tout élément important pour l'usager (besoins exprimés et humains). Tant que les ingénieurs resteront à l'arrière-plan en ne s'occupant que de l'éclairagisme, ils n'influeront que très peu sur la construction d'un immeuble.

(FURTHER COMMENT FROM PANEL)

If you have a large working area, it is very difficult to give each individual control over his little area because what he does will affect someone else. If each individual has his own office then they can do what they like. It is a matter of social interaction between the people working. The concept of task ambient lighting has been an attempt to overcome this problem. We have been critical of our own architects on this matter of the design of the interior, because many of them like to see a nice even array of light fittings all burning away. There is a conflict of what the organization perceives as being required and what the individual would like to have and that is a very difficult problem to resolve. I am sure however it will be resolved in the near future.

(AUTRES COMMENTAIRES)

Si l'espace de travail dont vous disposez est très vaste, il est difficile de permettre à chaque employé de régler l'éclairage de son petit coin étant donné que tout ce qu'il fera aura un effet sur ses collègues. Par contre, lorsque chaque personne a son propre bureau, chacun fait à sa guise. Il s'agit d'un problème de rapports entre les employés. On a tenté de le résoudre avec l'éclairage de tâche. En fait, on a critiqué le travail d'aménagement intérieur de nos architectes parce que bon nombre d'entre eux aiment inonder leurs immeubles de dispositifs d'éclairage attrayants qui consomment trop d'électricité. Il y a conflit entre les exigences de l'organisme et les désirs des employés. Voilà un problème difficile à résoudre, mais je suis sûr qu'on y arrivera d'ici peu.

SYNDICATE NO. 2

TOPIC

VISUAL PERFORMANCE EVALUATION

PETER BOYCE

DICK BLACKWELL

WERNER ADRIAN

GARY YONEMURA

MARION BASSETT

JOE LYNES

BOB CLEAR

ATELIER Nº 2

SUJET

ÉVALUATION DES PERFORMANCES VISUELLES

PETER BOYCE

DICK BLACKWELL

WERNER ADRIAN

GARY YONEMURA

MARION BASSETT

JOE LYNES

BOB CLEAR

SYNDICATE NO. 2

VISUAL PERFORMANCE EVALUATION

PETER BOYCE:

Syndicate No. 2 elected to show how field measurements and derived calculations interacted to provide a background for further analysis and study of lighting characteristics, task visibility and visual performance.

In undertaking this assignment we asked ourselves the following questions about measurements, etc.

- What they actually measure?
- What assumptions are involved?
- How reliable they are?
- How easy they are to measure?

The following measurements will be required in order to identify the characteristics or the effect lighting will have on the performance of tasks containing a visual element.

ATELIER Nº 2

ÉVALUATION DES PERFORMANCES VISUELLES

PETER BOYCE:

L'Atelier nº 2 s'est donné pour tâche de montrer comment les mesures prises sur les lieux et les calculs dérivés se conjugent et rendent ainsi possible la réalisation de nouvelles études et analyses sur les caractéristiques de l'éclairage ainsi que sur la visibilité et les performances visuelles lors de l'exécution des tâches.

Nous nous sommes posé les questions suivantes sur les mesures, etc.

- Qu'évaluent-elles vraiment?
- Quelles sont les hypothèses considérées?
- Quelles exactitude ont-elle?
- Avec quelle facilité peut-on les obtenir?

Nous déterminerons les caractéristiques de l'éclairage ou ses effets sur la réalisation de tâches visuelles à l'aide des grandeurs présentées ci-après.

Photometric Measure	Derived Measures for effect of lighting	Ease of Measurement
illumination	-	Standard
task luminance	-	Standard
surface reflectances	-	Standard
task contrast	contrast rendering factor (CRF)	Contrast - standard CRF = expensive but exact, or cheap but inexact
luminance of immediate surround field	disability glare factor (DGF)	L_v: expensive but possible DGF: nor measurable
luminance ratios	transient adaptation factor (TAF)	luminance ratios: standard TAF: not measurable

TABLE 1: Measures of Lighting

Grandeur photométrique	Grandeur dérivées sur l'effet de l'éclairage	Obtention de la grandeur
éclairement	-	Standard
luminance sur la tâche	-	Standard
facteur de réflexion des surfaces	-	Standard
contraste sur la tâche	facteur du rendu du contraste (CRF)	Contraste - standard CRF = onéreux et exact ou peu cher et inexact
luminance du champ périphérique immédiat	facteur d'éblouissement perturbateur (DGF)	L_v: onéreux mais possible DGF: non mesurable
rapport de luminance	facteur d'adaptation transitoire (TAF)	Rapports de luminance: standard TAF: non mesurable

TABLEAU 1: Mesure de l'éclairage

MEASURES OF LIGHTING:

These are things you can measure without people; they are measured with photometers. Reference Table 1.

Illumination/Illumants: The quantity of light alone is easy to measure, it has been done for years.

Task Illuminants: Easy to measure - everyone understands what it means.

Surface Reflectances: Again easy to measure. Included because of its effects on the illuminance and on illuminance distribution and because there are indirect effects on lighting, in other words, lighting does not act directly on the difficulty of the task or the sensitivity of the visual system only, it also impacts on how people perceive the space and whether they like it or not.

Task Contrast: Lighting can modify the task contrast by creating reflections, high luminance reflections, in the material that makes up the task, and thereby, producing or changing the contrast under different types of lighting arrangements.

The contrast rendering factor describes the extent to which a lighting installation modifies that contrast. It describes a lighting installation for a particular task, in a particular position, viewed from a particular angle. You can measure CRF directly or by an instrument.

LUMINANCE OF THE IMMEDIATE SURROUNDING FIELD: It is the surrounding luminance of a task. This has a two-fold effect on performance. First of all you can get a reduction in the contrast of the original image. The contrast rendering factor varies the contrast by reflection off the actual task. With the disability glare factor, you get scattered light in the eye and that puts a veil over the original image of the task. It also changes the sensitivity of the visual system. So, that means you cannot measure DGF directly. What you can measure is the extent to which the surrounding luminance produces a veil and then, you must apply a theoretical formulation.

MESURE DE L'ÉCLAIRAGE:

On peut mesurer certaines grandeurs sans intervention de l'homme, à l'aide de photomètres. Se reporter au Tableau 1.

Éclairement/Illuminants: Il est facile de mesurer la quantité de lumière seule; cela est de pratique courante depuis des années.

Illuminants de la tâche: Facile à mesurer; tout le monde comprend ce qu'elle représente.

Facteur de réflexion des surfaces; Également facile à obtenir. Grandeur prise en considération en raison de ses effets sur l'éclairement et sur la répartition de l'éclairement et en raison des effets indirects sur l'éclairage; autrement dit, l'éclairage a des conséquences directes sur la difficulté des tâches ou sur la sensibilité du système visuel, et aussi sur la façon dont les gens perçoivent l'espace, s'ils s'y sentent à l'aise ou non.

Contraste sur la tâche: L'éclairage peut modifier le contraste en créant des réflexions (réflexions de forte luminance) sur les éléments qui entrent dans la tâche et, par là même, en produisant ou changeant le contraste selon le type d'éclairage utilisé.

Le facteur de rendu du contraste permet de mesurer dans quelle mesure un éclairage modifie le contraste. Il correspond à une installation d'éclairage utilisée pour une certaine tâche, dans une position particulière et à partir d'un angle précis. Le CRF peut être obtenu directement ou à l'aide d'un instrument.

LUMINANCE DU CHAMP PÉRIPHÉRIQUE IMMÉDIAT: Elle correspond à la luminance entourant une tâche. Cette grandeur a des effets doubles sur le rendement. On peut, pour commencer, réduire le contraste de l'image de départ. Le facteur de rendu du contraste fait varier le contraste par réflexion à partir de la tâche réelle. Avec le facteur d'éblouissement perturbateur, de la lumière diffuse parvient à l'oeil, ce qui voile l'image de la tâche. Cela affecte également la sensibilité du système visuel. On ne peut donc pas mesure directement le DGF. On peut seulement déterminer dans quelle mesure la luminance périphérique produit un voile et utiliser ensuite une formulation théorique.

ILLUMINANCE RATIOS OUTSIDE THE IMMEDIATE TASK: These are important because the amount of light entering the eye and reaching the retina changes the state of adaptation of the retina and the visual system and that in turn changes the sensitivity of the system. Basically, if you move over large ranges of luminance very rapidly, then you find yourself not adapting to the prevailing systems and perhaps having a very low sensitivity when you need a high one. This factor takes into account these conditions. You cannot measure this directly, you can measure luminance ratios or you can measure the conditions you enter, but you then have to apply a laboratory formulation.

RAPPORTS DE LUMINANCE À L'EXTÉRIEUR DU CHAMP PÉRIPHÉRIQUE IMMÉDIAT: Ils sont importants parce que la quantité de lumière entrant dans l'oeil et atteignant la rétine modifie la faculté d'adaptation de cette dernière et de tout le système visuel ce qui, à son tour, influe sur la sensibilité du système. En effet, lorsqu'un sujet passe très rapidement sur une vaste gamme de luminances, il ne s'adapte plus aux systèmes dominants et se retrouve avec un niveau de sensibilité très bas alors même qu'il aurait besoin d'une sensibilité élevée. Ce facteur tient compte de ces conditions. Il n'est pas possible de le mesurer directement; on doit mesurer les rapports de luminance ou évaluer les conditions prévalantes puis utiliser une formulation expérimentale.

In summary we can say that the results of these measurements:

1. Will influence performance of some tasks.
2. All factors necessary but not sufficient to describe effects of lighting conditions on task performance.
3. For general lighting DGF and TAF not likely to be important.
4. For task lighting and daylighting there may be doubt about applicability of TAF.

Pour résumer, on peut dire que:

1. Les résultats obtenus pour ces mesures auront une influence sur la réalisation de certaines tâches.
2. Tous les facteurs sont nécessaires mais ne suffisent pas pour décrire les effets de l'éclairage sur la réalisation d'une tâche.
3. Pour l'éclairage général, le DGF et le TAF ne devraient pas être importants.
4. Pour l'éclairage des tâches et l'éclairage de jour, on peut douter de l'applicabilité du TAF.

PERFORMANCE RELATIONSHIP: The level of illuminance can effect visual performance, however, to what extent? Basically, for tasks that offer a range of illuminances, there will not be a problem, but if you need to provide a great deal of light, it might be more effective to change the distribution, in other words, changing the contrast rendering factor, rather than just increasing the amount of light. There is not a unique relationship between illuminance and task performance, however, there is a parallel, but to what extent depends very much on the task itself.

RELATIONS DE RENDEMENT: Le niveau d'éclairement peut modifier la performance visuelle, mais dans quelle mesure? En général, il n'y a pas de problème pour les tâches réalisables à différents niveaux d'éclairement mais si l'on veut fournir beaucoup de lumière, il peut être plus efficace de modifier la répartition (ce qui revient à changer le facteur de rendu du contraste) que d'augmenter la quantité de lumière. Le rendement au travail et l'éclairement sont certes liés, mais de différentes façons, principalement en fonction de la tâche à réaliser.

All the factors previously mentioned are independently necessary conditions, in the sense that they effect performance, but none of them on their own are sufficient. You need to consider all these various aspects in order to assess the way that lighting is likely to effect task performance.

We suspect that for general lighting installations, the disability glare factor and the transient adaptation factor are not going to matter very much, but on the other hand, we have some concern that when you come to the sort of systems that are being considered for interior lighting, and because of the concern to conserve energy, they may become more important. This is an area that deserves more attention.

There are doubts concerning interior lighting because of the effect of transient adaptation. It may have a very major effect on performance. It is extremely difficult for the designer to control.

RESULTS OF LIGHTING SYSTEMS:

1. Equivalence Field Illumination.
2. Illumination X CRF.
3. Effective Relative Contrast Sensitivity.

These are measures that attempt to combine some of the previous ones mentioned. They combine the quantity of light (the luminance) with the distribution of light and the way that it effects people via the contrast rendered, the disability glare and the transiant adaptation, and combines them through a standard curve.

Problems arise with this curve because it is very non-linear. There are very small deviations between contrast rendering and disability glare, therefore giving very large variation in equivalant field illuminance.

Tous les facteurs mentionnés précédemment sont des conditions indépendamment nécessaires, en ce qu'ils influent sur le rendement, mais aucun d'eux n'est suffisant en soi. Il faut tenir compte de tous ces éléments pour déterminer dans quelle mesure l'éclairage peut avoir un effet sur le rendement au travail.

Il est possible que, pour les installations d'éclairage général, le facteur d'éblouissement perturbateur et le facteur d'adaptation transitoire n'aient pas grande importance; toutefois, étant donné la sortie d'installation que l'on envisage pour l'éclairage intérieur, et le désir d'économiser l'énergie, ces deux facteurs pourraient devenir plus importants. Cette question devrait être étudiée de plus près.

Il existe certains doutes concernant l'éclairage intérieur en raison de l'effet de l'adaptation transitoire. Cela peut avoir de grandes conséquences pour le rendement. Il est extrêmement difficile pour le concepteur de bien tenir compte de cet élément.

RÉSULTATS DES INSTALLATIONS D'ÉCLAIRAGE:

1. Éclairement équivalent du champ.
2. Éclairement X CRF.
3. Sensibilité différentielle relative effective.

Ces mesures tentent de combiner plusieurs des grandeurs susmentionnées. Elles intégrent la quantité de lumière (la luminance), la répartition de la lumière et les effets de ces éléments sur le sujet, par le rendu du contraste, l'éblouissement perturbateur et l'adaptation transitoire, afin de les rassembler dans une courbe standard.

Cette courbe présente certains problèmes car elle manque nettement de linéarité. Il y a de très petits écarts entre le rendu du contraste et l'éblouissement perturbateur, ce qui donne de grandes variations dans l'éclairement équivalent du champ.

ILLUMINATION X CRF[5]: Is simply a linearization over a limited range. This measure tries to describe how well the lighting system contributes to visibility, however, it has problems because of it's linearity.

VISIBILITY:

Visibility is different from the other measures because it includes other considerations. Tasks must be performed under a given illuminance and within a certain relative contrast sensitivity, but the task contrast is really made up of two parts. Namely:

a) The Intrinsic Contrast: Which is there even when you have sphere lighting, and you have the variation on top of that, induced by the contrast rendering factor. The Intrinsic Contrast difficulty is Equivalent Contrast. The visibility level is really a measure of the signal to noise ratio and what is being measured is the equivalent contrast, which is the intrinsic difficulty of the task and the modifications for effect of the distribution of light. The main problem is that the equivalent contrast is a difficult and time consuming measure because a person must be there to make the measurement.

There is not a unique relationship between task visibility and performance. In other words the relationship between task visibility and performance is similar to the relationship between performance and illuminances. For example, if you work under levels of low illuminance and these are gradually increased you will be able to see better and your performance will increase until it eventually saturates. You can go on increasing the illuminance and visibility without making any difference to the performance above the saturation point. All of these measurements depend on calculated data as well as field measurements. Reference Table 2.

ÉCLAIREMENT X CRF[5]: C'est simplement une linéarisation sur une gamme limitée. Cette grandeur devrait mesurer dans quelle mesure une installation d'éclairage améliorer la visibilité; sa linéarité pose cependant des problèmes.

VISIBILITÉ:

La visibilité est différente des autres grandeurs car elle prend en considération d'autres éléments. Les tâches doivent être accomplies sous un éclairement donné et avec une sensibilité différentielle relative, mais le contraste sur la tâche se compose en fait de deux parties, à savoir:

a) Le contraste intrinsèque; il est présent même avec un éclairage sphérique et il y a en plus la variation produite par le facteur de rendu du contraste. La difficulté du contraste intrinsèque réside dans le contraste équivalent. Le niveau de visibilité est en fait une mesure du rapport signal-bruit; on évalue donc le contraste équivalent, qui représente la difficulté intrinsèque de la tâche, et les modifications dues à l'effet de la répartition de la lumière. Le principal problème est que le contraste équivalent est une grandeur qui ne peut être obtenue rapidement et facilement puisqu'une personne doit être sur place pour prendre la mesure.

La visibilité de la tâche et le rendement sont interreliés de différentes façons. Autrement dit, la relation entre la visibilité et le rendement est similaire à la relation entre le rendement et l'éclairement. Par exemple, si un sujet travaille sous un niveau de faible éclairement qui est peu à peu augmenté, il verra mieux et son rendement s'améliorera jusqu'à un point de saturation. Passé ce niveau, l'augmentation de l'éclairement et de la visibilité n'aura plus d'effet sur le rendement. Toutes ces grandeurs sont tirées de calculs et de mesures sur place. Se reporter au Tableau 2.

Measure	Variables involved	Comments
Equivalent sphere illumination	Task luminance, relative contrast sensitivity function, CRF, DGF*, TAF	Very non-linear, excessive sensitivity to errors in measurements of parameters.
Illumination x CRF^5	Task luminance, relative contrast sensitivity function, CRF, DGF*, TAF	Very non-linear, excessive sensitivity to errors in measurements of parameters.
Effective relative contrast sensitivity	Task luminance, relative contrast sensitivity function, CRF, DGF*, TAF	Indicates sensitivity of visual system, for specific task. Realistic sensitivity.
Visibility level	Equivalent contrast, relative contrast sensitivity function, age factor, CRF, DGF*, TAF	Equivalent contrast difficult to measure - but measurements difficult, time consuming, and imprecise.

TABLE 2: Measures of Task Visibility

Grandeur	Variables considérées	Observations
Éclairement sphérique équivalent	Luminance de la tâche, fonction de la sensibilité différentielle relative, CRF, DGF*, TAF	Fortement non linéaire, sensibilité excessive aux erreurs dans la mesure des paramètres.
Éclairement X CRF^5	Luminance de la tâche, fonction de la sensibilité différentielle relative, CRF, DGF*, TAF	Fortement non linéaire, sensibilité excessive aux erreurs dans la mesure des paramètres.
Sensibilité différentielle relative effective	Luminance de la tâche, fonction de la sensibilité différentielle relative, CRF, DGF*, TAF	Évalue la sensibilité du système visuel, pour une tâche particulière. Sensibilité réaliste.
Niveau de visibilité	Contraste équivalent fonction de la sensibilité différentielle relative, facteur âge, CRF, DGF*, TAF	Contraste équivalent difficile à mesurer; mesures difficiles, longues et imprécises.

TABLEAU 2: Mesure de la visibilité de la tâche

General Comments:

1. All combine effects of quantity and distribution of light.

2. All measures depend on data other than field measurements.

3. Relationship to visual performance uncertain.

MEASURES OF PERFORMANCE:

What CIE 19/2 did was to take the above mentioned measures concerned with visibility and relate them to the performance results from various experiments. What made this successful was that you not only had to look at visibility level but also at the extent to which off-axis detection worked. When talking about relative visual performance in CIE 19/2 we do not mean task performance, we are talking about the element of the task which is visual. The relative visual performance will tell you how well the lighting will do as far as enabling performance to occur on a task which is visual. In other words, the visual and non-visual performance of a relative task is based on the importance in connection with how effective the lighting is relative to that certain task. Reference Table 3.

Observations d'ordre général:

1. Toutes ces grandeurs considèrent les effets de la quantité et de la répartition de la lumière.

2. Toutes ces grandeurs proviennent de données non recueillies sur le terrain.

3. Le rapport avec les performances visuelles est incertain.

MESURE DE LA PERFORMANCE:

Dans le CIE 19/2, on a établi un rapport entre les grandeurs susmentionnées (relatives à la sensibilité) et les résultats obtenus lors de diverses expériences de rendement. Ce rapprochement a pu être possible parce qu'on n'a pas seulement étudié le niveau de visibilité; on a tenté de voir dans quelle mesure la détection périphérique (hors-axe) intervient. Lorsque nous parlons de performances visuelles relatives dans le CIE 19/2, nous désignons par là l'élément visuel de la tâche, et non le rendement au travail. Les performances visuelles relatives indiquent seulement dans quelle mesure l'éclairage permet d'atteindre un certain rendement dans une tâche visuelle. En d'autres mots, les performances visuelles et non visuelles pour une tâche donnée dépendent de l'importance de l'efficacité de l'éclairage pour cette tâche particulière. Se reporter au Tableau 3.

Measure	Variables involved	Comments
Relative visual performance (RVP)	Visibility level*, off-axis vision*	Visual performance is not task performance. Off-axis vision cannot be predicted - determined by analogy.
Relative task performance (RTP)	Visibility level*, off-axis vision*, visual/non-visual weighting	Visual/non-visual component determined by analogy.
Visual performance index (VPI)	Relative visual performance, visibility level	Probabilistic measure of extent to which visibility levels in a space exceed a target value defined by the task.
Average relative task performance	Relative task performance*	Average measure over work stations.
Productivity measures	Relative task performance*. Costs and values. Exogenous factors.	Much more information required.

TABLE 3: Measures of Performance

Grandeur	Variables considérées	Observations
Performances visuelles relatives (RVP)	Niveau de visibilité*, vision périphérique*	Les performances visuelles ne sont pas le rendement au travail. La vision périphérique ne peut être déterminée à l'avance; elle est établie par analogie.
Rendement relatif au travail (RTP)	Niveau de visibilité*, vision périphérique*, pondération visuel/non visuel	L'élément visuel/non visuel est déterminé par analogie.
Indice de performance visuelle (VPI)	Performance visuelle relatives, niveau de visibilité	Mesure de probabilité établissant dans quelle mesure les niveaux de visibilité dans un espaces dépassent une valeur objective définie par la tâche.
Rendement relatif moyen au travail	Rendement relatif au travail*	Mesure moyenne sur les postes de travail.
Mesures de productivité	Rendement relatif au travail*. Coûts et valeurs. Facteurs exogènes.	Nécessité d'obtenir un grand nombre d'autres informations.

TABLEAU 3: Mesure de la performance

General Comments:

1. All measures attempt to describe performance directly.

2. All measures depend on data other than field measurements.

The Visual Performance Index: Basically, is a probablistic measure of the extent to which the lighting installation supplies the visibility level required by the range of tasks being performed in the interior.

Alternative: The alternative developments from CIE 19/2 is simply to average the relative task performance of the space.

Productivity: When considering productivity, you must take into account the exogenous factors, things like motivation etc...

All of these aforementioned measurements attempt to describe performance directly, and they all depend on data other than field measurements.

If one discusses illuminants and lighting variables it becomes very obvious that these are linked in some way to visual performance, task performance and many other things. This enables you to establish criteria which must be met for a given lighting installation. However, even though you make and consider the previously mentioned measurements the link with actual visual performance is very vague. These measures exist and have backing, but what they don't have is verification or validation in the field and this is definitely an area that deserves more research.

Observations d'ordre général:

1. Toutes ces grandeurs tentent de décrire directement les performances.

2. Toutes ces grandeurs proviennent de données non recueillies sur le terrain.

Indice de performance visuelle: C'est grosso modo une mesure de probabilité établissant dans quelle mesure l'installation d'éclairage procure le niveau de visibilité voulu pour les différentes tâches réalisées à l'intérieur.

Autres possibilités: Les analyses d'autres possibilités présentées dans le CIE 19/2 servent simplement à établir une moyenne du rendement relatif au travail dans l'espace donné.

Productivité: Pour étudier la productivité, il faut tenir compte des facteurs exogènes tels la motivation, etc.

Toutes ces grandeurs tentent de décrire directement les performances et dépendent de données non recueillies sur le terrain.

Il est indiscutable que les illuminants et les variables d'éclairage sont liés d'une façon ou d'une autre aux performances visuelles, au rendement au travail et à bien d'autres choses. Cela permet d'établir à quels critères une installation d'éclairage doit répondre. Toutefois, même si l'on prend les mesures susmentionnées et si on les étudie, leur lien avec les performances visuelles réelles reste très vague. Ces grandeurs existent et leur importance a été montrée, mais il n'a pas encore été procédé à des vérifications ou des démonstrations sur le terrain; nous voyons là un domaine de recherche à favoriser.

WERNER ADRIAN:

The glossary has a great deal of terminology and would take a great deal of time to read, therefore, it is extremely complicated to implement the knowledge previously mentioned here today immediately into our work. I would like to say that CIE No. 19/2 is a scientific report and, therefore, has to go into detail. If it wasn't written in such detail the authors might be blamed for being slobbish. It does contain several processes and maybe we have engineered or invented some processes which really are not existent in the physiology of the eye. It was done in the best of the knowledge and capability of the people, but now the question is, how can we strip that down and make it handy so that everyone can use it? You have already seen and heard this morning many terms referring to relative visual performance, task performance and performance index. The question is, do we really need that? Is it valuable?

The question itself is very difficult and cannot be completely answered yet. However, we can at least apply this knowledge and see what is coming out. It might be of some interest to you to know that it was discovered in the discussion yesterday, and the day before yesterday that, for example, the relative contrast factor (RCF) is in some way related to the visual performance index (VPI) and that RCS can be measured directly with an instrument. There is some evidence then that this might work because we are limited to that particular luminance area in which the RCS function is relatively flat, so it has very little bearing on it. If this is correct, we would finally have one criteria which is measurable and which can be calculated and therefore be a good index for the visual performance. Performance is extremely important since it is very desirable to have people perform at their optimum under a given lighting installation.

WERNER ADRIAN:

Le glossaire renferme un grand nombre de termes et prendrait beaucoup de temps à lire. Il nous serait donc extrêmement difficile d'appliquer aujourd'hui même, dans notre travail, les connaissances présentées ici. J'aimerais préciser que le CIE 19/2 est un rapport scientifique et que, par conséquent, il doit être détaillé. S'il n'était pas rédigé de façon aussi détaillée, les auteurs pourraient être accusés d'avoir mal fait leur travail. Le rapport contient donc plusieurs processus et peut-être que nous en avons élaboré ou inventé certains qui n'existent pas en fait dans le domaine de la physiologie de l'oeil. Ce rapport représente une importante somme de connaissances et d'efforts mais il faudrait maintenant déterminer comment le simplifier de façon à ce que tout le monde puisse s'en servir. Nous avons déjà examiné et entendu ce matin un grand nombre de termes ayant trait à la performance visuelle relative, au rendement au travail et à l'indice des performances. La question est de savoir si nous avons vraiment besoin de ces données et si elles ont une certaines valeur.

En elle-même, la question est très difficile et nous ne sommes pas encore en mesure d'y répondre complètement. Nous pouvons toutefois appliquer ces connaissances et voir les résultats obtenus. Vous serez peut-être intéressés d'apprendre, par exemple, que nous avons découvert, lors de la discussion d'hier et d'avant-hier, que le facteur de contraste relatif (RCF) est d'une certaine façon relié à l'indice de performance visuelle (VPI) et que le RCS peut être mesuré directement avec un instrument. Il y a donc des chances que ce soit possible puisque nous sommes limités à la zone de luminance précise où la fonction du RCS est relativement plate et a peu d'influence sur cette valeur. Si les résultats sont corrects, nous aurions enfin un critère mesurable pouvant être calculé et, par conséquent, pouvant être considéré comme un bon indice du rendement. Le rendement est très important puisqu'il est très souhaitable que les gens travaillent au maximum de leur capacité en fonction d'une installation d'éclairage donnée.

On the other hand, I would like to make a critical remark. The RCS Curve we take as God given, however, we should keep in mind that we always use it in the range for indoor lighting, between 100 - 300 or so and in that range, of course it is relatively flat and can be applied.

The whole thing is based on the four minutes object, presented for .2 seconds in that particular range. We also have indoor visual tasks at lower luminance levels and this is increasing this visual, very complex task. For example, in radar controller rooms people have to see the radar screens and also have to be able to write down notes and read and here we are below that luminance level. And furthermore, when we talk about street lighting, this is a luminance level which is far below the indoor lighting level, and here in my opinion the RCS Curve as it stands cannot be applied because if you calculate the contrast sensitivity based on realistic tasks, the contrast sensitivity is different and also different for different objects in size from the RCS Curves as presented in 19/2. We still have work to do in this area. I think we should start by trying to implement this criteria and get more experience in applying it and then maybe we can work out of this rather complex material, which is very difficult to understand a relatively simple method which provides us with criteria to predict and design lighting installations that allow high performance.

GARY YONEMURA:

I would like to make a very simple statement, less you leave us with the wrong impression. In the early part of our presentation we talked about photometric measurements rather confidently, and on about the third slide Peter showed you there is some question as to where we were going with regards to some performance data. However, CIE No. 19/2 is a model that we can use to do some testing, remembering it is not a finished model. It is only a beginning and we have to do a lot of work on it.

J'aimerais, d'autre part, émettre une observation primoridiale. Nous ne devrions pas oublier que la courbe du RCS que nous considérons comme un don du ciel est toujours utilisée dans la gamme correspondant à l'éclairage intérieur (entre 100 et 300 environ), et que, dans cette gamme, elle est évidemment relativement plate et peut être appliquée.

Tout est fondé sur l'objet de quatre minutes présenté pendant 0,2 seconde dans cette gamme particulière. Il y a également des tâches visuelles réalisées à l'intérieur à des niveaux inférieurs de luminance, ce qui accroît la difficulté de cette tâche très complexe. Par exemple, dans les salles de controle radar, les personnes doivent voir les écrans des appareils mais doivent également prendre des notes et lire, à un niveau de luminance inférieur à ce seuil. En outre, dans le cas de l'éclairage des rues, il s'agit d'un niveau de luminance très inférieur à l'éclairage intérieur et, à mon avis, la courbe du RCS décrite ne peut être appliquée parce que si l'on calcule la sensibilité différentielle à partir de tâches réalistes, elle sera différente des courbes du RCS présentées dans le 19/2 et également différente pour divers objets de différentes grosseurs. Nous devons encore approfondir ce domaine, en tentant selon moi, de mettre en pratique ce critère et d'acquérir une plus grande expérience et de l'appliquer. Nous pourrions alors peut-être tirer de ces éléments plutôt complexes et difficiles à saisir une méthode relativement simple qui nous donne des critères précis pour la conception d'installations d'éclairage favorisant le rendement.

GARY YONEMURA:

J'aimerais faire une remarque très simple, pour que vous ne restiez pas sur une fausse impression. Au début de notre exposé, nous avons parlé avec une certaine assurance des mesures photométriques, et à la 3e diapositive environ, Peter vous a indiqué qu'on ne savait pas trop à quoi mèneraient certaines données sur le rendement. Cependant, le CIE 19/2 est un modèle que nous pouvons utiliser à titre expérimental, en n'oubliant pas qu'il est incomplet. C'est seulement un début et nous devrons encore beaucoup travailler pour le perfectionner.

JOE LYNES:

We have been considering to what extent we can accept and believe in publication 19/2. What we ought to do with 19/2, is not to regard it as something as one believes in or disbelieves in; it is a box of tools, a large number of tools, and tools are to be used. My own bias would be to use the simple tools and to use the tool which involved the minimum of theoretical commitment. Peter did show a couple of tools which have been devised in England, if anybody is interested in using them please come and see me.

ROBERT CLEAR:

I would like to add to Peter's analogy when he compared the metrics contained in CIE No. 19/2 to a potential apple-picker reaching for an appple hanging at the end of a long branch. The apple in this case being the overall net benefit of your lighting system. The task visibility metrics represent the position of the potential apple-picker near the trunk of the tree, while the visual performance metrics represent positions further out on the branch. The analogy is very simple - we really don't know how to calculate the answer to visual performance accurately nor determine the net benefit of the lighting system to the user, yet it is what we want. We are in the situation of wanting not only to have the tools cut but to know how to use these tools to obtain the answers and to establish the needed criteria (in visual performance) for designing lighting systems. I think the various syndicates have indicated to you very strongly their belief about lighting design and what goes into making good designs. This is in a sense what goes into making lighting productive and useful and mostly having to do with design factors not visual performance. So our attempt there has been very difficult because we are holding down one variable in a rather complex equation and trying to see what that tells us about the lighting system. I think you can see you cannot say a lot about lighting design, maybe you can say

JOE LYNES:

Nous avons tenté de déterminer si le 19/2 pouvait être accepté et considéré comme valable. En fait, le 19/2 ne devrait pas être vu comme quelque chose en quoi l'on croit ou ne croit pas, mais plutôt comme une boîte à outils, un très grand nombre d'outils. Personnellement, je choisirais des outils simples, ceux qui sont le moins établis à partir d'éléments théoriques. Peter vous a montré quelques outils mis au point en Angleterre; toute personne intéressée à en savoir plus peut s'adresser à moi.

ROBERT CLEAR:

J'aimerais revenir à l'analogie de Peter, quand il compare les données du CIE 19/2 à une personne essayant de cueillir une pomme qui pend à l'extrémité d'une longue branche. Dans cet exemple, la pomme représente les avantages nets globaux du système d'éclairage. Les données sur la visibilité de la tâche représentées par la position de la personne, à proximité du tronc, et les données sur les performances visuelles, par la position plus avancée sur la branche. L'analogie est très simple: nous ne savons vraiment pas comment calculer avec précision les performances visuelles ni déterminer les avantages nets du système d'éclairage pour l'utilisateur, même si c'est ce que nous recherchons. Nous cherchons non seulement à avoir les outils mais également à savoir comment utiliser ces outils pour obtenir des réponses et définir les critères voulus (pour les performances visuelles) en vue de la conception des systèmes d'éclairage. Je pense que les participants aux divers ateliers vous ont très vivement fait part de leur opinion en ce qui a trait à la conception de l'éclairage et aux éléments que l'on retrouve dans tout aménagement réussi. C'est dans un sens ce qui contribue à rendre l'éclairage productif et utile et c'est attribuable surtout aux facteurs de la conception et non à la performance visuelle. Notre travail a été très difficile parce que nous avons en main une variable dans une équation plutôt

something about lighting specifications for a building but again it is something which will have to be looked into a great deal more in the future.

RICHARD BLACKWELL:

The main message I would like to give is the following:

Peter Boyce's talk was really brilliantly given in my opinion and made clear that when it comes to the whole subject matter of CIE 19/2 all the measures are based on certain physical measurements which can be made without difficulty. We are talking about illuminances, luminances, reflectances and contrast which can be made with precise instruments which exist today. The nice thing about his talk was he showed the measurements on the first slides and then he showed two other slides, one of which showed a whole lot of measurements involving visibility, which is the first phase of the CIE model 14/2 and only took us up to 1972, or nine years to do and then we spent another nine years in committee to do the second part, which is the performance measures. You have already heard the right analogy with the tree and the fruit on the end and the narrowing down of the branch and I thoroughly agree with that. Now my message is only slightly different, I agree 19/2 is a reference work and is not an application document. It says so right in it. I agree that we do not know how useful 19/2 is going to be. What I want to see happen is for someone to find out and the way you find out is not to argue about small points in the report but to look at the robust aspects of it. I would like someone and who better than Public Works Canada try out CIE 19/2. What do they have to do? Nothing in addition to what they are already doing. They are already making these measurements I'm talking about. The computers can easily make a few more calculations and spinout each and every one of these possible measures which as you know represents different degrees of the

complexe et que nous tentons de découvrir sa signification pour le système d'éclairage. Je pense que vous pouvez constater que l'on ne peut pas en dire beaucoup au sujet de la conception de l'éclairage, mais il est possible de se prononcer au sujet des spécifications de l'éclairage d'un immeuble mais, ici encore, il s'agit d'un point qui devra être examiné davantage à l'avenir.

RICHARD BLACKWELL:

Le message le plus important que je voudrais vous transmettre est le suivant:

À mon avis, l'exposé de Peter Boyce a été présenté de façon brillante en expliquant clairement que lorsqu'il s'agit de la question du CIE 19/2, toutes les mesures sont basées sur certaines mesures concrètes faciles à effectuer. Nous parlons des éclairements, des luminances, des facteurs de réflexions et des contrastes que l'on peut obtenir grâce aux instruments précis d'aujourd'hui. Ce qu'il y avait de bon avec son exposé, c'est qu'il a montré les mesures sur les premières diapositives, puis sur deux autres diapositives, dont l'une portait un grand nombre de mesures ayant trait à la visibilité, qui constituent la première étape du modèle CIE 14/2 qu'en 1972, c'est-à-dire 9 ans trop tôt. Puis nous avons passé les autres années en comité en vue de la réalisation de la deuxième étape, soit les mesures du rendement. Vous avez déjà entendu l'analogie très vraie de l'arbre et du fruit au bout de la branche et du rétrécissement de la branche et je suis entièrement d'accord avec cette dernière. Maintenant, ce que je vais vous dire n'est guère différent. Je suis d'accord que le rapport CIE 19/2 est un ouvrage de référence et non un document convenant aux applications. Tout est si vrai dans ce livre. J'admets que nous ignorons l'utilité éventuelle du CIE 19/2. Je souhaite que quelqu'un la découvre et la façon d'y parvenir, ce n'est pas de s'arrêter à tous les petits détails du rapport mais plutôt d'en examiner les points forts. J'aimerais que quelqu'un essaie le CIE 19/2 et qui peut mieux le faire que les gestionnaires de Travaux publics Canada. Que doivent-ils faire? Rien de plus que ce qu'ils ne font déjà. Ils effectuent déjà les mesures dont je

nearness to what you want and different degrees of frigility of evidence in favour. I would be willing to let history be the judge. CIE 19/2 will be useful if it shows at the end of the year that this turned out to be useful to people like Public Works Canada in their retrofitting program. I believe that is exactly what will happen and that they will tell me and the committee of experts here which of the many possible measures have the most practical application values.

parle. Les ordinateurs peuvent facilement exécuter quelques calculs de plus et manipuler chacune de ces mesures possibles qui, comme vous le savez, représentent les différents degrés de ce que vous cherchez et les différents degrés de fragilité des preuves favorables. J'aimerais laisser le rôle de juge à l'histoire. Le rapport CIE 19/2 sera utile si l'on découvre à la fin de l'année qu'il a été utile à des gens, comme aux gestionnaires de Travaux publics Canada dans le cadre du programme de rénovation de ce Ministère. Je pense que c'est exactement ce qui va arriver et qu'on me dira ainsi qu'au comité d'experts ici réunis quelles sont, parmi toutes les possibilités, les mesures ayant les valeurs d'application les plus pratiques.

SYNDICATE NO. 3

TOPIC

VISUAL PERFORMANCE
RESEARCH REQUIRED

MARK RAE

RUSTY BLACKWELL

VIC CRISP

ISAAC GOODBAR

ATELIER Nº 3

THÈME

ÉTUDES REQUISES SUR LA
PERFORMANCE VISUELLE

MARK RAE

RUSTY BLACKWELL

VIC CRISP

ISAAC GOODBAR

SYNDICATE NO. 3

VISUAL PERFORMANCE RESEARCH REQUIRED

MARK RAE:

Our committee decided that the best way to introduce our topic was to discuss the central theme of this symposium, that is, visual performance and to extend our comments into the type of approach to research needed to support further visual performance studies.

To introduce this subject I think it is important for the people who are not engineers to understand why we are concerned about those things related to visual performance. Safety factors have always been included in design regardless of whether we are designing buildings or bridges. It is no different for illumination engineering. High light levels are 'safety factors'. You try to anticipate problems with low contrast material, older people, etc., and so you design high light levels for any possible eventuality. Several previous speakers have mentioned energy conservation. What energy conservation has done is to decrease light levels. Consequently, the implicit safety factor inherent in these high light levels have been reduced. This means we have a lower margin for errors than we had before and since more mistakes are going to be made it forces us to seek a better understanding of visual performance. If we are going to decrease errors resulting from the use of these lower light levels we need to have some fundamental information on how the visual system works. The linking system lies between the visual sciences and the actual application. We believe this requires a complete understanding of the system - not just spot checks here and there.

ATELIER Nº 3

ÉTUDES REQUISES SUR LA PERFORMANCE VISUELLE

MARK RAE:

Notre comité a convenu que la meilleure façon d'introduire ce sujet était d'analyser le thème central du colloque, c'est-à-dire la performance visuelle, et d'étendre nos commentaires aux travaux de recherche nécessaires pour la poursuite des études sur la performance visuelle.

En guise d'introduction, je pense qu'il est important pour tous ceux qui ne sont pas ingénieurs de comprendre pourquoi nous nous intéressons à tout ce qui est lié à la performance visuelle. Que ce soit pour la conception d'un bâtiment ou d'un pont, on a toujours tenu compte des facteurs de sûreté, et il en va de même pour l'éclairagisme, des niveaux élevés d'éclairement constituant des "facteurs de sûreté". On s'efforce d'anticiper les problèmes en cas de matériaux à faible contraste, ou pour les personnes âgées, etc., et l'on conçoit des niveaux élevés d'éclairement quelles que soient les conditions éventuelles. Parmi les conférenciers, plusieurs ont parlé de conservation de l'énergie; la conservation de l'énergie a contribué à diminuer les niveaux d'éclairement, ce qui a eu pour conséquence de réduire le facteur de sûreté implicite inhérent à ces niveaux élevés d'éclairement. Ce qui signifie une marge d'erreur plus faible qu'auparavant, et puisque davantage de fautes seront commises, il nous faut parvenir à une meilleure compréhension de la performance visuelle. Si nous voulons diminuer les erreurs résultant de ces niveaux d'éclairement plus faibles, il nous faut avoir davantage de renseignements fondamentaux sur le fonctionnement du système visuel. Le lien réside entre les sciences visuelles et l'application réelle; ce qui exige selon nous une compréhension globale du système - et non pas l'étude de quelques points particuliers.

If we see three disciplines or types of people characterized by circles involved directly or indirectly in the visual performance aspects of lighting design. We think that the lines of research here called control application studies and scientific understandings, must both be instituted if we are going to ever hope to have anything like visual performance incorporated into lighting design. One without the other is no good. That is the punch line and I hope that we can expand on it.

Si nous voyons trois disciplines ou types de personnes caractérisés par des cercles intervenant directement ou indirectement dans les aspects de l'éclairagisme qui sont liés à la performance visuelle. À notre avis, les orientations de recherche que nous appelons ici études d'application de contrôle et analyses scientifiques doivent être tous deux institués si nous avons le moindre espoir de voir un jour la performance visuelle incorporée à la conception de l'éclairage. Et il ne sert à rien d'envisager l'un de ces secteurs sans l'autre. C'est là notre idée maîtresse et j'espère que nous pouvons l'exploiter.

In a circle called lighting installations, we simply mean that this is the lighting in your office. This is an illuminating engineer if you like. In another circle we have the visual sciences and these include such things as basic psychophysical tests. This is where someone is sitting with a light bar and looking at little pin points of light flashing in front of them and saying yes I see it, no I don't, then actually inserting the micropipets into the eyeball and recording voltage potential changes to the same small flashes of light.

Un cercle appelé "installations d'éclairage", représente simplement l'éclairage dans notre bureau, ce qui revient à l'éclairagiste si vous préférez. Un autre cercle représente les sciences de la vision qui incluent aussi bien les tests psychophysiques de base (qui consistent à faire asseoir quelqu'un sous un tube lumineux, à lui faire observer de minuscules points lumineux) jusqu'à l'insertion de micropipettes dans le globe oculaire pour relever les variations de la différence de potentiel créées par ces mêmes éclairs lumineux.

Now you may think there is a large gap between designing lighting for your office and the laboratory, and you're right. Consequently we need a middle circle which we call applied vision because visual performance has some funny notions. We want to include more than that by talking about applied vision, which is between visual sciences and lighting installations.

Vous me direz, avec raison, qu'il est très différent de concevoir l'éclairage pour un bureau ou pour un laboratoire, et que par conséquent il nous faut un dernier cercle au milieu que nous appelons vision appliquée, car la performance visuelle comporte quelques notions étranges. En parlant de vision appliquée, nous voulons en fait inclure tout ce qui se situe entre les sciences de la vision et les installations d'éclairage.

CIE Report No. 19/2 contains an outline of the effort made to date in developing this link between the visual sciences and actual application.

Le rapport n° 19/2 de la CIE souligne les efforts qui ont été faits jusqu'à présent pour établir ce lien entre les sciences de la vision et leurs applications.

Now with that sort of framework in mind, I would like to expand on some of the things mentioned earlier and to tell you more about these lines of research.

À partir de ce schéma, je voudrais maintenant insister sur ce que j'ai dit auparavant et vous parler un peu plus de ces orientations de recherche.

What we are talking about here is the first row essentially and I would like you to put your attention on this visual performance criteria presented by Syndicate Two. It was inferred by Professor Blackwell that we needed a set of controlled application studies, where perhaps PWC would come in and try some symmetrics - set up CRF for example in which we might have the population of an office with a CRF of .5 and another office with a CRF of .9. Now that number does not have to mean anything but you can certainly grasp that you are making a comparison between visual quality in one office and one in another. We could even ask people to carry on their everyday work, typing, VDU's, sort checks, etc. so as to make a direct comparison out in the real world.

Nous parlons ici de notions primordiales et j'aimerais attirer votre attention sur les critères de performance visuelle présentés par le groupe d'étude nº 2. Le professeur Blackwell a souligné qu'il nous fallait entreprendre une série d'études d'application contrôlées auxquelles T.P.C. peut éventuellement participer et faire l'essai de quelques valeurs symétriques - fixer par exemple un CRF de 0,5 pour un bureau et de 0,9 pour un autre. Même si cette valeur ne signifie pas forcément quelque chose, on voit aisément qu'il s'agit d'une comparaison entre la qualité visuelle d'un bureau et celle d'un autre. On peut même demander aux employés d'effectuer leurs tâches quotidiennes, taper à la machine, utiliser des unités de visualisation, faire des classements, etc. de façon à faire une comparaison directe avec la réalité.

It is not enough to stop there. If in conducting our tests we find office A does better than office B - is there a scientific understanding of why that happens? It is more than just a correlation of analysis in our opinion. I think the four of us agree, that you have to have more than just this simple result because we find that where, for instance, delamping has been going on that some people like it and some don't. How can this be? Delamping is a simple straightforward thing and you've lowered the light intensity - how can you get both results? The fact of the matter is we don't have enough scientific understanding of what went into that.

Il ne suffit pas de s'arrêter là. Si nos tests nous montrent que le bureau A est meilleur que le bureau B - pouvons-nous trouver une explication scientifique à ce phénomène? C'est bien plus qu'une corrélation d'analyse, et je pense que nous sommes tous les quatre d'accord, pour dire que ce simple résultat ne suffit pas, car nous nous sommes aperçus que, par exemple, la suppression de lampes convenait à certaines personnes et pas à d'autres. Comment peut-on expliquer cela? La suppression de lampes est une mesure simple et directe qui diminue l'intensité lumineuse - comment peut-elle avoir de résultats différents? En réalité, nous n'avons pas assez d'éléments scientifiques qui nous permettent de comprendre ce qui intervient dans ce genre de phénomène.

Although the Hawthorne Effect was not mentioned, I will give you a brief outline. The Hawthorne Effect comes from a set of studies back in the 20's and 30's, where they actually measured the performance, that is how many electrical relays were produced by people and they got the idea to increase the light level to see if productivity increased. And sure enough it did. So they did it again to see where it stopped. Then someone had the bright idea let's lower it - so then they went back to the original levels and still got an increase in production. This was described as physiological factors,

Bien que nous n'ayions pas parlé de l'effet Hawthorne, je vais vous en donner une brève description. Cet effet Hawthorne provient d'une série d'études effectuées dans les années vingt et trente, à une époque où on mesurait la performance, en évaluant la production des employés d'une unité de montage de relais électriques; on eut l'idée d'augmenter le niveau d'éclairement pour voir si la productivité augmenterait. Et elle a effectivement augmenté. On augmenta donc encore le niveau pour voir jusqu'où la productivité augmenterait. On eut ensuite l'idée de diminuer le niveau - de revenir

something weird, in fact it is not the light level that makes the difference but is the physiological factors.

donc au niveau initial, et l'on observe toujours une augmentation de production. C'est ce que l'on appelle facteurs physiologiques, ce qui revient à dire, bien que cela semble étrange, que la cause ne réside pas dans le niveau d'éclairement mais dans les facteurs physiologiques.

Mr. Goodbar made the point that maybe measuring raw footcandles is not what should have been done. Maybe they should have measured CRF and by lowering the light levels maybe they actually improved CRF and that was the thing that determined the quality, but maybe it wasn't physiological factors, maybe there was something to do with visual performance that helped people do that. We don't know, but the point of the matter is, they did some studies and they got equivocal results and they waved their hands and said it was something weird like physiological and we don't have to worry about that. But maybe with a little scientific understanding, they could have resolved this and it might not have been called the Hawthorne Effect anymore and we would have waited for another experiment to come along.

M. Goodbar a fait remarquer que la meilleure chose à faire dans cet exemple n'était peut-être pas de mesurer les niveaux d'éclairement. Il aurait peut-être fallu mesurer le CRF, et peut-être qu'en abaissant les niveaux d'éclairement, le CRF s'est trouvé amélioré, et par conséquent la qualité; il ne s'agissait peut-être donc pas de facteurs physiologiques, mais peut-être d'un élément lié à la performance visuelle. Nous l'ignorons encore, mais le fait est, que des études ont été faites, que les résultats obtenus étaient équivoques, et qu'on en a conclu qu'il s'agissait de facteurs physiologiques dont on ne devait pas se soucier. Peut-être qu'avec quelques connaissances scientifiques, cette question aurait été résolue, cet effet n'aurait plus été appelé effet Hawthorne et on aurait attentu que d'autres expériences soient faites.

The important message here is that one has to have the scientific background to understand the empirical results that are being turned out in the field. These were people that did real assemblies, putting relays together and yet there was not satisfactory explanation on what happened. One example that we discussed, was CRF as it has been reported in the literature. There is an empirical relationship between CRF and satisfaction; the higher the CRF - the higher the satisfaction. This has been reported in the reference literature. Now why is this? There has never been any real explanation for it although a lot of people accept it in various countries.

Nous voulons dire par là qu'une formation scientifique est nécessaire pour comprendre les résultats empiriques obtenus. Il s'agissait dans ce cas précis de personnes qui étaient chargées de faire des montages, d'assembler des relais, et pourtant aucune explication satisfaisante des faits n'a pu être trouvée. Je vais reprendre maintenant l'exemple du CRF tel qu'il a été présenté dans la littérature, en parlant de la relation empirique existant entre le CRF et la satisfaction. Plus le CRF est élevé - plus la satisfaction est grande. C'est ce qu'affirment les ouvrages cités en référence. Qu'est-ce que cela signifie? Il n'y a jamais eu aucune explication réelle de cette relation bien qu'elle soit acceptée par de nombreuses personnes dans différents pays.

We feel that this is not enough. We need to know why CRF improves satisfaction. Some of the things that you might look at is binocular rivalry. Essentially this means that the image to the two eyes may be different and you are suppressing one eye vs the other. We have accommodation that is in the lens and also the eye focusing at different points. If, for example, I have a piece of shiny material I have a low CRF because I have a veiling reflection coming from the light above - the focal distance to those lights is different than the focal distance to the page.

Nous croyons que cela n'est pas suffisant. Nous devons savoir pourquoi le CRF améliore la satisfaction. On peut faire intervenir la rivalité binoculaire qui signifie essentiellement que l'image donnée par les deux yeux peut être différente et que la préférence est donnée à un oeil plutôt qu'à l'autre. Nous pouvons faire aussi intervenir le pouvoir d'accommodation, lorsque la lentille et l'oeil focalisent en deux points différents. Dans le cas par exemple d'un objet brillant, le CRF est faible car une réflexion de voile est créée par les lumières situées au-dessus de l'objet - la distance focale à ces lumières étant différente de la distance focale à la page.

The eyes may be trying to do both things at one time and you may have low satisfaction because of the CRF. This is the same as convergence, this is where the two eyes are focusing on different optical distances. This happens when the eyes diverge to look in the distance and they come together. We have to have a scientific understanding of why people are dissatisfied with CRF.

Lorsque les yeux tentent de faire deux choses à la fois, la satisfaction diminue à cause du CRF. De même pour la convergence, qui intervient lorsque les deux yeux ont des distances focales différentes. Ceci se produit lorsque les yeux divergent pour voir au loin puis reconvergent. Nous devons arriver à comprendre sur le plan scientifique pourquoi le CRF est un facteur d'insatisfaction.

I think it is fair to say that most of the discussion that we had about visual performance, centered about CIE No. 19/2, and those metrics were discussed. We think there are other important things to do with visual performance and these would include, for example, individual differences. This is one of the things that wasn't discussed enough although we have a position paper from Mrs. Blackwell. We said that we had empirical studies that need to have more scientific understanding, to understand the opposite effects arising from individual differences.

Je pense qu'il est juste de dire que nos discussions à propos de la performance visuelle ont surtout porté sur le rapport CIE N° 19/2 et les étalons qui y sont donnés. Je crois qu'il est important également, lorsqu'on parle de performance visuelle, d'inclure par exemple les différences individuelles. C'est un des sujets qui n'a pas été suffisamment discuté, bien que l'article de M^me^ Blackwell en parle. Nous avons dit en premier lieu que les études empiriques dont nous disposons nécessitent de meilleures connaissances scientifiques, mais l'effet contraire se produit pour les différences individuelles.

We know a lot about the transmission on the ocular media of the eye - it decreases with age, older people become slower and so on but does this show up in the real world. There have not been enough checks on the actual implications using older people and asking them to do visual performance in the real world. So you see it is a two way street but it is a complete link if we go back to this diagram for a second, some studies deal on this realm and some on this realm, but what you need for a complete understanding in the design process is both one without the other doesn't work.

On dispose de nombreux renseignements sur la transmission et le milieu oculaire de l'oeil - on sait que la qualité de la vision décroît avec l'âge, que les personnes âgées deviennent plus lentes, mais l'on n'a pas encore suffisamment vérifié les résultats obtenus lors des tests de performance visuelle effectués sur des personnes âgées. C'est donc un effet à double sens, mais si l'on revient brièvement à ce schéma, on voit que certaines études traîtent d'un aspect, certaines traîtent d'un autre, mais les deux nous sont nécessaire pour une compréhension globale du processus de conception.

We had a little fun on this last one, it is a little out of line, but we wanted to show you what helps us understand may be the less traditional things. This is what we call dynamic lighting.

I remember Ian Lewin (who is one of the casualties that Bob mentioned a year ago), was discussing this in another similar symposium, that is; what happens if we increase light levels during the day in an office? Can we get people motivated? What effect does this have? What are the dynamic aspects? We generally set a light level, but what would happen if we modulated it during the day? Would people do better - would they do worse? So we have a rhetorical question. And here we have a gap, we don't have any traditional theories which would say one thing or the other because we don't have enough empirical studies. Some people have done pilot studies, in sort of a control application study. But there is a science lacking here. We don't know much about motivation, we don't have enough empirical studies. We don't know enough about fatigue, etc., but, it is still an important question. Maybe it is not enough just to ask the empirical questions, it is more important to understand the foundation and sciences. Because Syndicate One talked about design, we heard comments about comfort, motivation, satisfaction and so on. We too should go a little further rather than limiting our discussion to visual performance.

We concluded with a general representation of how research should be conducted in the lighting field. And there we have lighting installations, engineering and basic science and they are connected by controlled application studies and scientific understanding in the same way.

À ce propos, je voudrais vous raconter une anecdote amusante, même si elle est un peu hors du sujet, pour vous montrer que ce sont parfois des éléments moins traditionnelles qui nous aident à comprendre. Il s'agit en l'occurrence de l'éclairage dynamique.

Je me souviens que Ian Lewin (dont Bob a parlé il y a un an), avait, lors d'un colloque semblable, soulevé la question suivante: qu'arrive-t-il si nous augmentons les niveaux d'éclairement en journée dans un bureau? Cela a-t-il pour effet d'augmenter la motivation des employés? Quels sont les résultats obtenus et les aspects dynamiques? En général, le niveau d'éclairement est fixé, mais que se produirait-il si l'on essayait de le moduler pendant la journée? Les employés travailleraient-ils mieux - ou moins bien? Il s'agit bien d'une question de rhétorique. Et nous voyons qu'il existe une lacune: nous ne disposons d'aucune théorie nous permettant de répondre à cette question parce que nous ne disposons pas de suffisamment d'études empiriques. Bien que des études pilotes aient été réalisées par certains, nous les avons incorporées sous forme d'études d'application. Mais nous manquons de données scientifiques, nous savons trop peu des phénomènes de motivation, de fatigue, etc., alors qu'il s'agit de questions importantes. Peut-être ne suffit-il pas de poser les questions empiriques, peut-être est-il plus important de comprendre les fondements scientifiques. Le groupe d'étude nº I s'est intéressé à la conception, et de nombreux commentaires ont été faits vis-à-vis du confort, de la motivation, de la satisfaction; nous devons nous aussi tenter d'aller un peu plus loin au lieu de limiter notre analyse à la performance visuelle.

Nous sommes donc parvenus à définir globalement la manière dont les recherches doivent être entreprises dans le domaine de l'éclairage. Les études d'application contrôlées et les connaissances scientifiques permettent de relier de la même manière l'étude des instalaltions, l'éclairagisme et les sciences fondamentales.

Now, another area that we think is important and it has now been mentioned by many people here, is what we call human factors. What we would like to do is illustrate this by one of the things that was also mentioned today, task lighting. Task lighting has only been discussed in terms of visibility, CRF, or all those things considered in improving the visual quality. But task lighting implies somebody taking the arm and moving it from position A to position B to deal with say a particular glossy photo that you are looking at or the newspaper that you are trying to read. You don't need a visual scientist to tell you whether a person is going to move his arm. What you need is somebody perhaps involved in kinophysiology or physiology. You need someone in the growing field of applied ergonomics. This would be, perhaps, a design of a new articulated arm on a lighting system which would enable people to use this lamp more effectively to take advantage of potentially the higher visibility that could occur from task lighting. But it is the same line of research. You have to have empirical studies - you put task lights out there and you watch people move them around. But you also have to have, we propose, a fundamental scientific understanding of this thing. The simplest case, how far can a person reach? What are the statistics on that? How does the arm bend? Does it bend this way or that? You may determine what to put on one side versus the other (left handed or right handed). But again it is a part of a lighting design for task performance making. Maybe these are the things that should be considered by PWC on what they should be doing. Now I don't say that task lighting is the only thing I'm just using that as an example.

Un autre aspect que nous estimons important et qui a été mentionné par plusieurs participants, est constitué par ce que nous avons appelé les facteurs humains. Et j'aimerais illustrer ce concept en utilisant une notion qui a été mentionnée aujourd'hui: l'éclairage de tâche. Or, nous avons parlé ce cette notion en termes de visibilité, CRF, ou d'autres facteurs contribuant à améliorer la qualité visuelle. Mais l'éclairage de tâche est une notion qui intervient lorsqu'on bouge par exemple le bras d'une position A à une position B, que ce soit pour examiner une photographie brillante ou pour essayer de lire le journal. Ce n'est pas un spécialiste de la vision qui peut nous dire si on doit ou non bouger le bras; nous avons besoin d'un spécialiste en physiologie ou kinophysiologie, c'est-à-dire d'un spécialiste de ce nouveau domaine qu'est l'ergonomie appliquée. Ce type d'études peut par exemple aboutir à la conception d'un nouveau bras articulé pour un système d'éclairage, qui peut en améliorer l'efficacité et augmenter la visibilité liées à l'éclairage de tâche. Il s'agit alors de la même orientation de recherche: il nous faut faire des études empiriques, placer par exemple des lampes de tâche à certains endroits et observer la façon dont les gens vont les déplacer. Mais il faut aussi, à notre avis, pouvoir comprendre ce qui se passe, sur le plan scientifique. Plus simplement, connaître la distance qu'une personne peut atteindre, quelles sont les statistiques dont nous disposons, la manière dont elle pliera le bras, vers l'avant ou vers l'arrière. Vous pouvez avoir à déterminer de quel côté placer tel ou tel système (par exemple pour les droitiers et pour les gauchers). Mais ici encore, il s'agit d'éclairagisme dans le cadre des performances de tâche. Ces notions pourront éventuellement être prises en compte par T.P.C., et peut-être ne sont-elles pas les seules, je les ai seulement citées en exemple.

Now, going further we get to those things we in the environment of the laboratory think of as lighting design or esthetics or art. Howard Brandston contends that there are some fundamental principles for lighting design. These are in our behavioural genes that tell us this is good lighting design. You could get an aborigine to walk in and say "Wow this is a great office I really like this", in sign language or whatever, or you could hire a person from Manhattan and he'll come in and tell you the same thing. And this is important.

Regardons maintenant d'un peu plus près l'aspect de l'éclairagisme qui s'approche davantage de l'esthétique industrielle ou même d'une sorte d'art. Il existe, selon Howard Brandston, quelques principes fondamentaux de conception d'éclairage; ce sont des choses dont on ressent instinctivement qu'elles constituent un bon éclairage. Faites entrer un autochtone dans votre bureau, il vous dira à sa manière qu'il aime la façon dont la pièce est éclairée, que l'endroit lui plaît, etc.; demandez à un type de Manhattan de vous donner son avis, il vous dira la même chose. Et c'est ce qui est important.

We tend to think of it as maybe art and that every 50 years lighting design changes, but Howard says no. Now that requires, if you will a behavioral geneticist who can come in and tell us about population dynamics, how people perceive things and so on. But it also takes a little scientific understanding, a fellow doing a different experiment in a laboratory. It also takes a controlled application study. Maybe it would be a good idea to interview the aborigine or the person from Manhattan and have them scale things from one to ten and have them indicate this office is great or this office is terrible; and sure enough we'll get a high correlation. This is important to lighting design process. This is one of the things that came through in this conference today - that it is not just visual performance, but part of a much larger lighting design problem.

Nous avons tendance à croire qu'il s'agit d'un art et que la conception d'éclairage évolue tous les cinquante ans, mais Howard affirme qu'il n'en est rien. Il nous faut en quelque sorte certaines connaissances de la génétique du comportement, de la dynamique de groupe, de la manière dont chacun perçoit les choses qui l'entourent. Mais il nous faut également certaines données scientifiques, certaines expériences en laboratoires et certaines études d'application. Il serait peut-être intéressant de demander à l'autochtone comme à l'homme de Manhattan de faire un classement de 1 à 10 pour évaluer tel ou tel bureau, il est presque certain que les résultats obtenus montreraient une corrélation très forte, ce qui est de toute première importance pour la conception de l'éclairage. C'est une des notions qui ont été soulevées lors de la conférence d'aujourd'hui - il ne s'agit pas simplement de performance visuelle, mais d'un problème plus vaste de conception.

Now, I guess what I would like to do is to ask other members of the panel to offer their comments.

J'aimerais maintenant laisser la parole à d'autres membres du groupe. Commentaires de certains membres du groupe d'étude.

MRS. O.M. BLACKWELL:

This is a detail after such a global approach, but one of the things that we did discuss with regards to research, is that because we had to do away with a certain amount of illuminance, we are forced into coming up with much better lighting design. We are getting to the point that we have to design lighting systems well. This requires a different level of research both from the point of view of people and of the different factors that go into visual performance and all the other aspects. It also means that it forces you into designing materials, light sources, lighting systems in a way that you were never forced before. The whole field of research now opens on all these levels to produce much better lighting systems than before. I think the panel is quite sure this was indeed the case.

VIC CRISP:

I would just like to make a couple of points because I was very impressed with the fact there were so few of us and how quickly we came to some consensus on how we should present this. I have a feeling that we may have disappointed some people. I thing they might have been expecting us to produce a list of experiments that had to be done in order to feed into the design and specification process. We deliberately avoided doing this. We did produce these examples and I hope that nobody goes away thinking that they are some kind of priority list. They are only examples. The other point I would like to make is to try and stretch this apple tree analogy a bit further. It is extremely important to bear in mind that by getting the basic scientific understanding required to develop such knowledge, you may actually be able to decide that it is a lot easier to stand on the ground and reach up and get the apple than to crawl along the branch.

M^me^ O.M. BLACKWELL:

Ce dont je vais parler peut paraître un détail à la suite d'une approche aussi globale, mais l'une des idées qui ont été soulevées à propos de la recherche, est qu'il est en quelque sorte ironique que nous soyons forcés d'améliorer la conception de l'éclairage justement parce que nous avons dû réduire l'éclairement. Une bonne conception de l'éclairage est nécessaire. Cela exige un niveau différent de recherche du point de vue humain et du point de vue des différents facteurs qui interviennent dans la performance visuelle et dans d'autres aspects. Cela signifie aussi que nous devons utiliser une approche toute nouvelle pour la conception des matériaux, des sources lumineuses, des systèmes d'éclairage. Le domaine global de la recherche doit maintenant s'ouvrir à tous les niveaux pour produire de meilleurs systèmes d'éclairage et je suis persuadée que le groupe d'étude est d'accord sur ce point.

VIC CRISP:

Je voudrais simplement dire que j'ai été très étonné de voir que nous étions si peu nombreux et de voir aussi la manière dont nous sommes arrivés très rapidement à un concensus sur la façon de présenter les choses. J'ai le sentiment que certains doivent être déçus. Ils s'attendaient peut-être à ce que nous donnions une liste d'expériences à réaliser et entrant dans le cadre du processus de conception et d'établissement de normes. C'est justement ce que nous avons voulu éviter. Nous n'avons donné que des exemples qu'il ne faut surtout pas considérer comme une quelconque liste de priorités. Il ne s'agit que d'exemples. Je voudrais également, en reprenant la métaphore de la pomme sur le pommier, préciser que cet exemple n'est en aucun cas limitatif. Il est essentiel de ne pas oublier que l'acquisition des connaissances scientifiques fondamentales requises peut éventuellement nous aider à prendre des décisions quant à la voie à adopter: c'est-à-dire de déterminer s'il est beaucoup plus facile d'essayer d'atteindre la pomme tout en restant sur le sol au lieu de ramper sur la branche.

ISAAC GOODBAR:

I will start by clarification on one of the comments from Dr. Adrian of the previous syndicate. He mentioned that he did not agree with the RCS Curve for values used in street or highway lighting. I agree with that point but I will give some of the reasons.

It so happens that we have in our eyes two different sensor developments - the cones and the rods. The cones are the elements that let us see in high levels of illumination and let us see colour and relate to the RCS Curve. RCS stands for relative contrast sensitivity which means that each point on the curve represents the sensitivity at one particular value of illuminance. The rods have one particualr shape and the cones have a different one. If you tried to fit both of them with the same curve you cannot do it, it is either good for high levels or for low levels. In between there is another type of curve called mesopic which is applicable for the mesopic range, so we may have to have more than three types of curves to fit all the points and obviously, if the curve is intended for indoor applications it will not be suitable for outdoor applications.

I would now like to speak about another experiment that didn't work out the way it was planned. There was a study done about traffic accidents in the United States and probably in Canada during the late sixties. Mr. Crouch, Director of the Illuminating Engineering Research Institute asked me to look at some of the results of those experiments which appeared not to make sense any way you looked at them. The places where more accidents happened were places where the light was better. I have to confess that I could not make sense out of the vague results of the study nor could Mr. Crouch. The only more or less explanation that we could come up with was that maybe the lighting inspired or forced confidence in the drivers and therefore they

ISAAC GOODBAR:

J'aimerais commencer par quelques remarques, à propos des commentaires du Dr Adrian du groupe d'étude précédent. Il a précisé qu'il n'était pas d'accord avec la courbe des valeurs de RCS utilisées pour l'éclairage des rues ou des routes. Je suis d'accord avec lui sur ce point et je vais dire pourquoi.

Il se trouve que nos yeux possèdent deux zones réceptrices différentes - les cônes et les bâtonnets. Les cônes sont des éléments qui nous permettent de voir lorsque le niveau d'éclairement est élevé, de voir la couleur, et ce sont eux qui interviennent dans la courbe RCS. RCS signifie sensibilité relative de contraste, ce qui veut dire que chaque point de la courbe représente la sensibilité pour une valeur particulière de l'éclairement. Les bâtonnets et les cônes sont de forme différentes. Il n'est pas possible de les illustrer en utilisant la même courbe, les uns intervenant pour les hauts niveaux, les autres pour les niveaux plus bas. Entre les deux intervient un autre type de courbe appelé mésopique qui s'applique dans l'intervalle intermédiaire, si bien que trois types différents de courbe peuvent être nécessaires pour illustrer l'ensemble des points, et il est de plus évident que si la courbe convient aux applications à l'intérieur des bâtiments elle ne conviendra pas pour les applications à l'extérieur.

J'aimerais maintenant parler d'une expérience qui n'a pas donné les résultats prévus. Vers la fin des années soixante, on a effectué aux États-Unis et probablement au Canada une étude liée aux accidents de la circulation. M. Crouch, directeur de l'Institut de recherche sur l'éclairagisme m'a demandé d'examiner certains des résultats de l'expérience, résultats qui ne semblaient pas à priori signifier grande chose. En effet, les endroits où se produisaient la plupart des accidents étaient justement les endroits les mieux éclairés. Je dois reconnaître que, tout comme M. Crouch, j'ai eu du mal à tirer des conclusions de ces quelques vagues résultats. La seule explication plus ou moins logique que nous avons pu établir est la suivante: il est

were less careful. Later, I was called by the Mayor of Buenos Aires in Argentina to go there and investigate a street and highway lighting problem and to appear as an expert witness in a court case.

After I had collected and analyzed all the data on the lighting I discovered that the places considered well lighted and where most accidents occurred had the best uniformity of lighting and those areas which were poorly lighted had the greatest variation in uniformity. It appeared than that good uniformity contributed to the cause of so many accidents which of course didn't make sense either at the time. However, analyzing this further and considering that we have uniform pavement luminance, which we have in many areas in the United States because of the reflective properties of the pavement which results in greater reflections at glazing angles as opposed to higher angles so the whole thing when viewed from a distance becomes uniform. In such cases, objects on the highway which have a brightness of 10 lumens/square metre and say the threshold - which is the minimum difference you can detect is 2 then anything from 8 to 12 will merge with the background and disappear so it will not only be seen but the road will appear clear ahead. I discovered the same situation in several other legal cases where I was an expert witness in accidents where several people had been killed due to this phenomenon. It is my opinion based on these investigations that promoting uniform pavement luminance may have some inherent problems. Another consideration is the following. If you are driving on a uniformly lighted highway and is you see a pedestrian or another object away ahead (on the highway) you see it as a silhouette. The headlamps of your car still don't reach him and the pavement is bright so you see it as a silhouette. However, when you get closer your headlights light him well, the background is still the same so you see it as a reverse silhouette. I think it is obvious to most of us that between this negative and positive contrast they might be a place with zero contrast. This situation

possible que les zones plus éclairées renforcent la confiance des conducteurs, qui sont alors moins prudents. Un peu plus tard, le maire de Buenos Aires en Argentine, m'a demandé de faire une étude sur les problèmes d'éclairage des rues et des routes et également d'apporter mon témoignage au cours de certains procès, à titre d'expert.

Après avoir collecté et analysé toutes les données sur l'éclairage, j'ai découvert que les endroits considérés comme bien éclairés et où se produisaient la plupart des accidents étaient ceux où l'éclairage était le plus uniforme, alors que les endroits mal éclairés montraient une grande diversité d'éclairage. Il m'a donc semblé que l'uniformité était un facteur intervenant dans les accidents, ce qui ne signifiait pas grande chose à l'époque. Toutefois, si l'on analyse cette idée, et en tenant compte du fait que nous avons une luminance uniforme sur la chaussée, ce qui est vrai dans beaucoup d'endroits aux États-Unis en raison des propriétés réfléchissantes des chaussées, propriétés qui entraînent une réflexion plus intense sous un angle rasant, de sorte que l'objet en question c.-à-d. la chaussée paraît uniforme lorsqu'on l'observe à distance. Dans de tels cas, des objets se trouvant sur la chaussée et ayant une luminosité de 10 lumens/m^2 seront confondus avec le fond, de sorte qu'on ne les verra pas et que la route semblera dégagée, si le seuil, c.-à-d. la différence minimale détectée, est égal à 2, c.-à-d. que tout objet d'une luminosité comprise entre 8 et 12 disparaît. J'ai déjà rencontré ce type de phénomène dans certains autres cas d'accidents mortels de la circulation. À mon avis, un éclairement uniforme sur la chaussée peut poser quelques problèmes. On peut en outre considérer la chose suivante: lorsque vous conduisez sur une route uniformément éclairée, le moindre objet ou le moindre piéton se trouvant sur la chaussée vous apparaît à contre-jour. Les phares de votre véhicule ne l'atteigne pas encore et sa silhouette vous apparaît en négatif. Mais lorsque vous vous approchez, vos phares l'éclairent, le fond étant toujours le même, et vous le voyez maintenant en positif. Je crois qu'il est évident pour la plupart d'entre nous qu'entre ce contraste négatif et ce contraste positif doit se

might better be described as a camouflage effect which of course is the opposite to our desired effect. This was only one of the considerations I presented in these legal cases; others included transient adaptation, etc.

In conclusion, I would like to mention that in my work on ESI, which I presented in my position paper to the Round Table symposium, we were able to get fairly good comparison between measurement of ESI and computer results of ESI.

trouver une zone de contraste nul. Ce phénomène provoque une sorte d'effet de camouflage, ce qui bien sûr est contraire à l'effet souhaité. Ce n'est que l'un des nombreux aspects que j'ai présenté au cours de ces procès, un autre est l'adaptation visuelle, etc.

En conclusion, j'aimerais souligner à propos de mes travaux sur l'ESI, que j'ai présentés dans mon article lors du colloque, une comparaison assez bonne a pu être établie entre les mesures d'ESI et les résultats informatiques.

CONCLUSIONS

The objective of the International Round Table Symposium was:

-"to develop a logical approach towards the integration of visual performance criteria into the 1) design, 2) specification and 3) evaluation of interior illumination systems".

Public Works Canada, through its Illumination Engineering Section, is involved in a number of major programs in the field of illumination engineering. These programs have been developed with the sole purpose of improving the effective utilization of electrical energy and creating pleasant and comfortable working environments. The common objective is to create new application and design technology to permit the design and installation of energy effective lighting systems in federal government buildings and institutions.

One such program, entitled "Phase 11 Energy Conservation Retrofit" is intended to further reduce energy consumption in all federal government buildings. The first phase of this program has involved low cost changes to lighting systems such as 'delamping'. Before proceeding to the second phase, which will incur major capital costs, Public Works Canada wishes to determine the impact of altering both the quantity and quality of light in occupied spaces upon the visual environment and, consequently, the productivity and comfort of the occupants.

Based on experience gained in implementing Phase 1, PWC recognizes that visual performance as a potential design parameter and possible metric of human productivity could be a key factor in assisting the Department in achieving comfortable and productive energy efficient visual environments.

CONCLUSIONS

Les objectifs fixés pour le Colloque international sont les suivants:

-"élaborer une approche logique pour l'intégration des critères de performance visuelle dans 1) la conception, 2) les spécifications et 3) l'évaluation des systèmes d'éclairage intérieur".

Par l'intermédiaire de sa section d'ingénierie de l'éclairage, Travaux publics Canada intervient dans plusieurs programmes importants dans le domaine de l'éclairage. Ces programmes ont été élaborés dans le seul but d'améliorer l'utilisation de l'énergie électrique et de créer un milieu de travail plus agréable et confortable. L'objectif commun est de créer une nouvelle technologie d'application et de conception permettant la conception et l'installation de systèmes d'éclairage économisant l'énergie dans les bâtiments et institutions du gouvernement fédéral.

Un de ces programmes, intitulé "Phase II - Réadaptation pour une meilleure conservation de l'énergie" vise à réduire encore la consommation d'énergie dans tous les bâtiments du gouvernement fédéral. La première phase de ce programme fait intervenir des modifications mineures comme la "suppression de lampes". Avant d'entamer la deuxième phase, qui entraînera des dépenses importantes, Travaux publics Canada souhaite déterminer comment ces changements apportés à la quantité et à la qualité de l'éclairage influenceront l'environnement visuel et par conséquent la productivité et le confort des personnes concernées.

S'inspirant de l'expérience acquise lors de la mise en oeuvre de la phase 1, T.P.C. note les points suivants: En tant que paramètre potentiel de conception et étalon possible de productivité, la performance visuelle peut devenir un facteur clé permettant au Ministère de créer des environnements visuels confortables et productifs, qui permettent d'économiser l'énergie.

Public Works has been a leading force in North America in attempting to utilize visual performance data into its lighting guidelines and recommended practices. It has introduced this important area of illuminating engineering to engineers, architects and consultants across Canada through seminars and lectures. Furthermore, computer programs have been made available and training provided to both the public and private sectors to capitalize on the computational techniques presently available.

However, the controversy surrounding the application of visual performance to 'real world' lighting problems is of concern and vital interest to Public Works.

Eight issues emerged from the assembly of international experts in the field of light and vision and these will be introduced into our annual work plan as resources are made available and the investigations can be coordinated to provide a feasible and logical approach to completing the program.

The eight issues are briefly described in the following paragraphs:

1. During use of the recommendations and standards for general interior illumination promulgated prior to the recent concern for energy conservation, aspects of human response to lighting other than visual performance became at least as important, lighting design often virtually ignoring visual performance in favor of other human responses during its initial stages. Consideration of visual performance requirements following initial design were used only to "trim" the initial design. This virtual disregard for visual performance has apparently not introduced widespread dissatisfaction with lighting designs presumably because the relatively high illumination levels recommended or standardized provided an adequate performance "safety factor".

Travaux publics a joué un rôle prédominant en Amérique du Nord en s'efforçant d'intégrer les données de performance visuelle dans ses recommandations et directives concernant l'éclairage. Par des séminaires et des cours, le Ministère a introduit le concept important d'éclairagisme parmi les ingénieurs, architectes et consultants au Canada. De plus, des programmes informatiques, et programmes de formation ont été mis à la disposition du public et du secteur privé afin qu'ils puissent bénéficier des techniques informatiques actuelles.

Il n'en est pas moins vrai que la controverse relative à l'application de la performance visuelle aux problèmes "réels" de l'éclairage constitue une préoccupation essentielle pour Travaux publics Canada.

Le groupe de spécialistes mondiaux dans le domaine de l'éclairage et de la vision a pu établir huit points essentiels, qui seront incorporés à notre plan annuel de travail lorsque les ressources nécessaires seront disponibles et que la coordination des recherches permettra d'adopter une approche logique pour achever le programme.

Les paragraphes suivants donnent une brève description de ces huit points:

1. Lorsqu'étaient utilisées les recommandations et normes pour l'éclairage ambiant intérieur, normes qui avaient été établies avant que la conservation de l'énergie ne devienne une préoccupation, certains aspects (autres que la performance visuelle) des réactions humaines à l'éclairage, avaient pris une importance aussi grande; en effet, à ses débuts, la conception de l'éclairage ignorait presque totalement la performance visuelle pour tenir compte d'autres réactions. Les exigences de performance visuelle n'étaient utilisées, après la conception initiale, que pour "raffiner" cette première phase de conception. Le fait d'avoir pratiquement ignoré la performance visuelle n'a vraisemblablement pas créé d'insatisfaction générale, sans doute parce que les niveaux d'éclairement relativement élevés recommandés ou normalisés constituaient un "facteur conservatif" de performance.

2. However, the current emphasis upon energy conservation is leading rapidly to drastically reduced levels of illuminance for general interior lighting applications which will substantially reduce the performance safety factors previously available, and it may very well be that visual performance criteria cannot safely be ignored in lighting designs in an era emphasizing energy conservation. Information brought to the symposium illustrated the very large range of individual differences of human responses to lighting parameters affecting visual performance, only some of which variability is related to worker age. Thus, it would be surprising indeed if lighting designs produced under the stress of energy conservation and the absence of any real eandards for general interiorvaluation of visual performance can avoid real losses in the productivity of at least some workers. At the least, these considerations suggest strongly that a serious and deliberate effort be made to use visual performance criteria to **evaluate** lighting designs after the initial design stage.

2. Toutefois, la priorité donnée actuellement à la conservation de l'énergie nous amène très vite à réduire les niveaux d'éclairement pour l'éclairage ambiant à l'intérieur des bâtiments, ce qui réduit considérablement les facteurs conservatifs de performance; et il se peut très bien que les critères de performance visuelle ne puissent être ignorés en toute sécurité dans les conceptions d'éclairage à une époque où la conservation de l'énergie est essentielle. Les informations mentionnées au cours du colloque montrent qu'il existe de très grandes différences dans les réactions individuelles aux paramètres d'éclairage affectant la performance visuelle, certaines de ces différences seulement étant liées à l'âge des travailleurs. Il serait donc surprenant que les conceptions d'éclairage établies dans un souci de conservation de l'énergie et en l'absence de toute évaluation réelle de la performance visuelle, puissent éviter des pertes réelles de productivité pour certains travailleurs au moins. Ces considérations nous font prendre conscience qu'un sérieux effort doit être fait pour que les critères de performance visuelle servent à **l'évaluation** des conceptions d'éclairage après le stade initial de conception.

3. The quantitative model described in Report 19/2 appears to have one very important advantage over other methods for evaluating visual performance aspects of lighting, i.e. that it provides a quantitative basis for evaluating effects due both to the quantity and the "quality" of lighting in terms of a single metric. This aspect of 19/2 has been very generally accepted in the years since Report 19 was published in 1972, at least insofar as the use of the contrast rendering factor, CRF, as a quality factor is concerned. It seems clear that, if the case has been made for serious evaluation of visual performance aspects of lighting in an energy conservation era, some metric or another contained in the 19/2 model should be selected for use.

3. Le modèle quantitif décrit dans le rapport 19/2 semble présenter un avantage très important par rapport aux autres méthodes d'évaluation des aspects de l'éclairage liés à la performance visuelle, car il fournit une base quantitative pour évaluer les effets dus à la quantité et à la "qualité" de l'éclairage sous forme d'une mesure unique. Cet aspect du rapport 19/2 a été en général bien accepté au cours des années depuis la parution du rapport 19 en 1972, au moins en ce qui concerne l'utilisation du facteur de rendu du contraste, le CRF (Contrast Rendering Factor), comme facteur de qualité. Dans le cas d'une évaluation sérieuse des aspects de l'éclairage liés à la performance visuelle dans le cadre d'une politique de conservation de l'énergie, un autre étalon devrait être choisi, éventuellement dans le modèle 19/2.

4. Although at the beginning visual performance evaluations of lighting designs could well follow the initial design stage, visual performance evaluations would naturally become part of the initial design stage if it could be shown that these evaluations correlate well with "post occupancy evaluations" of lighting installations, at least in those cases in which tasks with critical visual components have to be performed in the lighted space. However, whether or not visual performance evaluations become part of the initial design stage in at least some instances, the quantitative metrics of these evaluations should not become part of lighting specifications. Experience with the use of ESI metrics in specifications has been generally unsatisfactory, due no doubt to a number of factors and it seems likely that similar factors would probably plague any metric originating from a technical document similar to Report 19/2. In the case of ESI, difficulties seem to have been due to such factors as: (a) the incompleteness of the metric, ESI having taken account of only lighting quantity and CRF, and not having taken account of the factors (DGF and TAF) related to luminance ratios in the visual field and the task surround relative to the task background, (b) the extraordinary sensitivity of the metric to small differences among different locations in a given lighting installation and to differences among similar lighting installations; (c) difficulty in obtaining agreement between predetermined and measured values of ESI under at least some circumstances; and (d) the basic nonlinearity of the relation between ESI and worker productivity. In a more general sense, the ESI metric is difficult to measure directly with physical measurement precision and somewhat difficult to conceptualize.

4. Bien qu'au début, les évaluations de performance visuelle pour la conception de l'éclairage pouvaient très bien se faire après le stade initial de conception, ces évaluations font naturellement partie de la phase initiale et on peut montrer qu'elles sont en bonne corrélation avec les évaluations des systèmes d'éclairage "après occupation des locaux", au moins dans les cas où les tâches accomplies dans l'espace éclairé ont des caractéristiques visuelles critiques. Toutefois, que les évaluations de performance visuelle fassent partie ou non de la phase initiale de conception, les étalons quantitatifs de ces évaluations ne doivent pas être incorporés aux spécifications d'éclairage. L'utilisation des étalons ESI dans les spécifications s'est révélée insatisfaisante en général, certainement à cause de plusieurs facteurs, et il semble probable que des facteurs analogues interviendraient pour tout étalon issu d'un document technique semblable au rapport 19/2. Dans le cas de l'ESI, les difficultés semblent être dues à certains facteurs, tels que: (a) le caractère incomplet de l'étalon ESI, qui ne tient compte que de la quantité d'éclairage et du CRF, sans tenir compte des facteurs (DGF et TAF) liés au rapport de luminance dans le champ visuel et au voisinage de la tâche, par rapport au fond; (b) la sensibilité extraordinaire de l'étalon à de petites différences entre différents points d'une installation donnée, ainsi qu'à certaines différences entre des systèmes similaires d'éclairage; (c) la difficulté à faire concorder les valeurs prédéterminées et mesurées de l'ESI au moins dans certaines circonstances et (d) la non-linéarité fondamentale de la relation entre l'ESI et la productivité du travailleur. Dans un sens plus général, l'étalon ESI est difficile à mesure directement avec précision et certainement difficile à conceptualiser.

5. Report 19/2 is a reference work, intended to represent the state of the art with respect to knowledge concerning visual performance aspects of lighting as of March 1978. It generally leaves to others the task of using it for lighting applications. The report contains a great many parameters, enough to persuade some to ignore the document altogether. However, there seems to be very little doubt that there are at least as many parameters involved in the relationships between lighting parameters and visual performance as are described in 19/2. Thus, the applications problem is one of the selecting some parameters of 19/2, or of simplifying the relationships it describes. Careful readers of 19/2 will agree that different aspects of the quantitative model differ greatly in their generality and in the amount of evidence available to support them. Some parts of the model are quite "robust" in the words of a symposium participant, others relatively fragile. However, assuming that the quantitative evaluation of visual performance aspects of lighting by concepts such as those of 19/2 is considered useful to lighting design, effort should be devoted to further study and either verification or modification of various elements of 19/2. This task need not, however, hold back the applications of 19/2. Engineering proceeds as best it can, at any point in time, modifying its procedures when new information becomes available. Thus application of 19/2 and work on what might become 19/3 should proceed in parallel. Of course, work has continued since the cutoff date for 19/2 in March 1978. During these last years, a better understanding has been achieved with respect to individual differences in response to lighting parameters as noted above, probilistic measures have been developed for use in characterizing lighting spaces in which many different individuals perform many different visual tasks, and progress has been made in the development of cost-benefit

5. Le rapport 19/2 constitue un ouvrage de référence visant à présenter les connaissances les plus récentes, en mars 1978, concernant l'éclairage et la performance visuelle. Il laisse en général à d'autres le soin d'utiliser ces connaissances pour la conception. Le rapport contient un très grand nombre de paramètres, assez grand pour donner envie à certains d'ignorer le document dans son ensemble. Il semble toutefois presque certain que le nombre des paramètres intervenant dans les relations entre les paramètres d'éclairage et ceux de performance visuelle sont aussi nombreux que ceux décrits dans le rapport 19/2. Ainsi, les problèmes rencontrés dans les applications résident dans la sélection de certains paramètres du rapport 19/2 ou dans la simplification des relations qu'ils décrivent. Les personnes qui ont lu 19/2 avec attention conviendront que les différents aspects du modèle quantitatif diffèrent considérablement en général et par le nombre de preuves sur lesquelles ils s'appuient. Certaines parties du modèle sont tout à fait "robustes", pour reprendre les termes d'un participant au colloque, d'autres étant relativement fragiles. Toutefois, en supposant que l'évaluation quantitative de la performance visuelle par des concepts comme ceux de 19/2, est un élément utile pour la conception de l'éclairage, nous devons nous efforcer d'étudier de manière plus approfondie, et de vérifier ou de modifier les différents éléments du rapport 19/2. Ceci ne veut pas dire cependant que les applications de 19/2 doivent être mises au second plan. L'ingénierie progresse comme elle peut, en modifiant ses procédures au fur et à mesure des informations dont elle dispose. L'application de 19/2 et les travaux d'élaboration de ce qui deviendra le rapport 19/3 peuvent donc être menés en parallèle. Depuis la suspension de 19/2 en mars 1978, le travail a bien sûr continué. Au cours de ces dernières années, nous sommes parvenus à une meilleure compréhension des différences

analyses of lighting based upon visual performance criteria.

6. Report 19/2 and its outgrowths present the lighting applications engineer with a plethora of evaluation metrics. These include metrics expressed in terms of task visibility, most of which were described in Report 19 published in 1972, and newer metrics expressed in terms of visual performance, described only in Report 19/2 published in 1981. A symposium participant suggested a graphic analogy to describe the different metrics, as follows: consider the goal of reaching an apple hanging at the end of a long limb as analogous to the task of describing the visual performance potential of a lighted environment. Each 19/2 metric corresponds to some position of the potential apple-picker with respect to the apple. Task visibility metrics represent positions of the potential apple-picker near the tree trunk; the limb is relatively stout but the desired apple is relatively far away. Visual performance metrics represent positions considerably farther "out on a limb", being less secure but closer to the ultimate ojective. Thus, the selection of a 19/2 visual performance metric must be based upon the weighting placed upon nearness to objective relative to the strength of the fear of falling. The only comment which can be added to such a delightful analogy is that in general, metrics which express overall characteristics of a lighted space are most likely to give relative closeness to objective with minimum fear of falling, since they do not require accurate use of the model with respect to individual parameters of workers and tasks. Of course, metrics restricted to single values of the model parameters are educational, being very useful in revealing to the careful reader of 19/2 the relative impotance of different individual conditions with respect to the

individuelles de réactions aux paramètres lumineux, des mesures probabilistes ont été mises au point pour caractériser les espaces éclairés dans lesquels des personnes différentes doivent accomplir des tâches visuelles différentes, et nous avons amélioré la mise au point des analyses de coûts-bénéfices fondées sur les critères de performance visuelle.

6. Le rapport 19/2 et ses résultats fournissent à l'éclairagiste une abondante quantité d'étalons d'évaluation, certains exprimés sous forme de visibilité de tâche, dont la plupart sont décrits dans le rapport 19 publié en 1972; d'autres sont des étalons plus récents exprimés en termes de performance visuelle, et figurant au rapport 19/2 publié en 1981. Un des participants au colloque a proposé l'analogie graphique suivante pour décrire les différents étalons: on peut comparer le potentiel de performance visuelle dans un milieu éclairé, à un enfant qui veut attraper une pomme à l'extrémité d'une longue branche; chaque étalon du rapport 19/2 correspond à la position de l'enfant par rapport à la pomme. Les étalons de visibilité de tâche correspondent à la position de l'enfant lorsqu'il est près du tronc, là où la branche est relativement solide mais où la pomme est relativement éloignée. Les étalons de performance visuelle correspondent aux positions de l'enfant sur la branche, lorsqu'il se rapproche de la pomme et s'éloigne du tronc: la sécurité est alors moins grande mais l'objectif est plus proche. La sélection d'un étalon de performance visuelle doit donc être fondée sur un compromis entre la proximité de l'objectif et le risque de l'échec. On peut ajouter une seule remarque à cette superbe analogie: en général, les étalons exprimant les caractéristiques globales d'un espace éclairé ont davantage de chances de produire une proximité relative à l'objectif avec un risque minimal d'échec, puisqu'ils n'exigent pas l'utilisation précise du modèle par rapport aux paramètres individuels des travailleurs et des tâches. Naturellement, les étalons qui se réduisent à des valeurs uniques des

effects of lighting parameters upon visual performance. The educated reader may not necessarily use these metrics precisely, but he may be guided by them in developing application procedures. (It could be noted that RQQ Report No. 6 made just such an educated but imprecise use of information from 19/2 with respect to the parameters (a) task difficulty, as measured by C, (b) worker age, and (c) demand for speed and accuracy of performance).

paramètres du modèle ont une valeur éducative, servant à révéler aux lecteurs du rapport 19/2 l'importance relative des différentes conditions individuelles par rapport aux effects des paramètres d'éclairage sur la performance visuelle. Il est possible que le lecteur avisé n'utilise pas forcément ces étalons mais qu'il s'en serve comme de guides pour la mise au point des procédures d'application (il faut noter que le rapport RQQ nº 6 utilisait de cette manière imprécise les informations du rapport 19/2 concernant les paramètres (a) de difficulté des tâches, mesurée par C, (b) d'âge du travailleur et (c) des exigences de vitesse et de précision de réalisation).

7. Laboratory simulation studies should be made to test the validity of the 19/2 method used to combine measures of lighting quantity and quality, i.e. RSC_{eff} = RCS x CRF x DGF x TAF. Also, efforts to correlate post occupancy evaluations of lighting retrofits with one or another of the 19/2 metrics should be encouraged. It should be pointed out that all 19/2 metrics are based upon the same physical measurements of task luminance, task contrast, and the patterns of luminance in different locations within the workers' visual fields. Once results of these measurements are available, it seems reasonable to expect that many of the metrics can be calculated and their correlations with the results of post occupancy evaluations ascertained. Public Works Canada may well be in an especially appropriate position to undertake such studies during the next few years.

7. Des études de simulation en laboratoire doivent être faites pour tester la validité de la méthode 19/2 utilisée pour combiner les mesures de quantité et de qualité d'éclairage, c.-à-d. RCS_{eff} = RCS X CRF X DGF X TAF; on doit encourager les efforts réalisés pour corréler les évaluations "après occupation des locaux" pour les réadaptations effectuées avec l'un ou l'autre des étalons 19/2. Il faut remarquer que tous les étalons de 19/2 sont fondés sur les mêmes mesures physiques de la luminance de tâche, du contraste de tâche, et des configurations de luminance en différents points du champ de vision des travailleurs. Lorsque les résultats de ces mesures seront obtenus, il semble raisonnable de penser que de nombreux étalons pourront être calculés et que leur corrélation avec les résultats des évaluations "après occupation" pourront être confirmés. Il est fort possible que Travaux publics Canada convienne tout particulièrement pour entreprendre de telles études pendant les quelque prochaines années.

8. Cost-benefit analyses of lighting in terms of visual performance criteria may well be used ultimately to set minimum levels of task luminance for lighting recommendations and standards. This area of visual performance application seems particularly worthy of attention in the near future. It is appreciated that such analyses may well have to involve great simplifications with respect to the 19/2 model of the effects of lighting parameters upon visual performance.

The author considers that the areas of general agreement described above were indeed substantial among symposium participants, and that the symposium was therefore an important milestone along the way to appropriate application of the much discussed and little understood CIE Report No. 19/2 concerned with visual performance aspects of lighting.

8. Les analyses de coûts-bénéfices de l'éclairage en termes de critères de performance visuelle peuvent être utilisées pour établir les niveaux minimums de luminance de tâche pour les recommandations et normes d'éclairage. Ce domaine d'application de la performance visuelle semble mériter toute notre attention dans un avenir proche. On pense que de telles analyses devront faire intervenir d'importantes simplifications du modèle 19/2 concernant les effets des paramètres d'éclairage sur la performance visuelle.

L'auteur estime que les domaines décrits ci-dessus, sur lesquels les participants au colloque sont arrivés à un consensu général, sont suffisamment importants et que le colloque constitue donc une étape essentielle dans l'application correcte du rapport de la CIE n° 19/2 portant sur les aspects de l'éclairage liés à la performance visuelle, rapport ayant déjà donné lieu à de nombreuses discussions, et dont l'interprétation est mal comprise en général.

It has enabled Public Works Canada to develop strategic planning and to consider and implement where possible those parameters affecting visual performance. The several outstanding position papers presented by the participants are contained in these proceedings. One position paper which provides an immediate course for PWC to pursue was Dr. H. Richard Blackwell's paper entitled 'Summary Description of a Proposed Probabilistic Measure of Visual Performance Potential for Use in Evaluation Installations of General-Purpose Interior Lighting". The procedure is based on applying CIE No.19/2 in a practical sense. Other papers, e.g. Dr. D. Fischer and Dr. W. Adrian supported this concept, which now needs to be further developed and validated through field measurements. The method outlined is intended to provide a Visual Performance Index (VPI) through the evaluation of workstations in an office. It should be possible to determine through field measurement the visual performance

Ceci a permis à Travaux publics Canada d'élaborer une planification stratégique, puis de tenir compte et d'utiliser, lorsque c'est possible, les paramètres affectant la performance visuelle. Les différents articles présentés par les participants figurent dans ce compte rendu. L'un de ces articles fournit pour T.P.C. une ligne d'action immédiate: c'est celui du Dr H. Richard Blackwell, intitulé "Description sommaire d'une proposition de mesures probabilistes du potentiel de performance visuelle pour l'évaluation des installations d'éclairage ambiant intérieur". La procédure est fondée sur l'application pratique du rapport n° 19/2 de la CIE. D'autres articles, par exemple ceux du Dr D. Fischer et du Dr W. Adrian, appuient cette idée, qui demande maintenant d'être développée et validée par des mesures sur les lieux. La méthode décrite vise à produire un indice de performance visuelle (VPI = Visual Performance Index) par l'évaluation des postes de travail dans un bureau. Il doit être possible de déterminer par des mesures,

potential of the work space and then consider the effects of various options to changing a lighting system. By analyzing and comparing VPI, we should be able to determine whether contemplated changes will result in improved visual performance in the working space.

Public Works Canada wishes to express it's deepest appreciation to everyone who participated and contributed to making this International Round Table Symposium such an outstanding success. We hope that the discussions and the deliberations that took place during the symposium will provide the direction and stimulus needed in research and development of new technology to enable illumination engineers to consider visual performance in the lighting design process.

R.E. Jennings

le potentiel de performance visuelle de l'espace de travail, puis de considérer les effets des différentes options sur le système d'éclairage. En analysant et en comparant le VPI, on doit pouvoir déterminer si les changements produits correspondent à une amélioration de la performance visuelle dans l'espace de travail.

Travaux publics Canada tient à exprimer sa profonde reconnaissance à tous ceux qui ont apporté leur participation et leur contribution pour faire de ce Colloque international un véritable succès. Nous souhaitons que les discussions et les débats qui ont eu lieu indiqueront la direction à suivre et donneront à la recherche et au développement d'une nouvelle technologie, l'élan nécessaire pour permettre aux éclairagistes d'intégrer la performance visuelle au processus de conception d'éclairage.

R.E. Jennings